Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Avaliação do Impacto em Comissionamento e Testes de Funcionamento numa Subestação com Protocolo CEI 61850

Pedro Emanuel Pinto Cardoso

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. Hélder Leite
Co-orientador: Eng.º Alberto Pinto

Julho de 2013

Resumo

Recentemente, têm surgido novas técnicas de comunicação, utilizadas no controlo e supervisão de Subestações, com o objetivo de garantir uma maior fiabilidade e qualidade no fornecimento de energia elétrica. É o caso da Norma CEI 61850. A aplicação da Norma CEI 61850 acarreta uma extensa lista de ensaios de conformidade. Esta dissertação tem como âmbito, o estudo do impacto que esses ensaios de conformidade acarretam para os Sistemas de energia, assim como para as equipas técnicas e para os equipamentos de ensaio, relativamente ao que é hoje realizado pela Operadora da Rede de Distribuição portuguesa.

A dissertação apresenta os ensaios realizados atualmente pela Operadora da Rede de Distribuição, assim como os indispensáveis equipamentos de ensaio para a sua concretização. Posteriormente são identificados os ensaios para verificação da CEI 61850, identificando-se as diferenças aos atuais ensaios assim como novas filosofias e métodos de ensaio. Para contrastar com os equipamentos apresentados para a realização dos atuais ensaios são identificados os equipamentos dedicados à conformidade da Norma CEI 61850 e a necessidade de adquirir esses novos equipamentos ou de adotar novas formas de utilizar os já existentes.

A dissertação contempla ainda um estudo dos pontos mais relevantes do protocolo CEI 61850, para o presente estudo. É também realizada uma caracterização dos Sistemas de Proteção, Comando e Controlo de uma Subestação Tipo. Por fim é discutido o estado atual da Norma CEI 61850 nas Subestações de Distribuição portuguesas onde são identificadas algumas barreiras existentes à implementação integral da Norma CEI 61850. São, no seguimento descrito, propostas algumas tarefas a serem realizadas de forma a ultrapassar essas barreiras e tirar todos os benefícios desenhados pela Norma CEI 61850.

Palavras-Chaves: Comissionamento e Testes de Funcionamento, Norma CEI 61850, Rede Local de Comunicações, Sistemas de Proteção, Comando e Controlo.

Abstract

Recently, new communication techniques used in the Substation supervision and control emerged with the purpose to guarantee a greater reliability and quality in the electric energy supply. It is the case of the standard CEI 61850. The application of the standard IEC 61850 entails an extensive list of conformity trials. This dissertation studies the impact of the conformity trials in the energy systems, the impact in the technical teams and trial equipment, relatively to what is done by the portuguese Distribution Network's Operator.

The dissertation presents the trials done by the Distribution Network's Operator and the indispensable trial equipment needed to accomplish these trials. Afterwards it is identified the verification trials for the standard IEC 61850, being identified the differences between the current trials and the new philosophies and trial methods. To compare with the presented equipment used in these trials it is identified the equipment dedicated to verify the conformance with the CEI 61850 standard, and the necessity to acquire this equipment or to adopt new ways to use the existing equipment.

The dissertation features a study of the most important topics of the standard CEI 61850. It is also presented a description of a Regular Substation's Control Command and Protection System. Finally it is discussed the current state of the IEC 61850 in the portuguese Distribution Substations where it is identified some of the existing barriers to the complete implementation of the standard. It is proposed some of the tasks to be realized to surpass these barriers and take advantage of all the benefits designed by the CEI 61850 standard.

Keywords: *Commissioning and Testing Operation, IEC 61850 Standard, LAN Communications, Protection Systems, Command and Control.*

Agradecimentos

Começo por um grande agradecimento a 'Deus' por me proporcionar este momento tão importante da minha vida, e pelas forças que me deu para nunca desistir, e demonstrar que não me lembro dele apenas nas situações menos boas.

Agradeço de igual forma aos meus Pais que sempre tudo fizeram para que eu pudesse alcançar esta meta da minha vida, aos seus grandes esforços, espero que estejam orgulhosos de mim e que o vosso esforço não tenha sido em vão. Desculpem pelos momentos de infelicidade que vos causei e pelas preocupações que passaram nesta fase. A Vós fico para sempre grato por aquilo que por mim fizeram. O meu muito obrigado.

Aos meus colegas e amigos que me acompanharam nesta etapa e proporcionaram bons momentos de descontração. Agradeço especialmente à minha namorada, Ana Assis, pela sua grande compreensão e pelo esforço que manteve ao longo deste tempo para me apoiar e ajudar nos momentos menos bons. Aos meus colegas de estágio, Eduarda, Rogério e Hugo, pelos bons momentos que passamos juntos e partilha de conhecimentos.

Por fim agradeço a todos os Professores que partilharam o seu conhecimento para a minha formação, em especial ao Professor Doutor Hélder Leite que acreditou em mim para a realização deste trabalho e me ajudou, tanto a nível técnico como pessoal.

Lugar ainda para agradecimento a todo o pessoal do Departamento ATOM - Norte da EDP Distribuição – Energia SA, em especial ao Engenheiro Alberto Pinto pelos seus grandes ensinamentos e disponibilidade para a concretização deste trabalho. Obrigado à EDP Distribuição – Energia SA por esta grande oportunidade.

A todos vós um muito Obrigado!

Índice

Lista de figuras

Lista de tabelas

Abreviaturas

Lista de abreviaturas

ACSI	*Abstract Communication Service Interface*
AT	Alta Tensão
CC	Centro de Condução
CEF	Condições Especiais de Funcionamento
CEI	Comité Eletrotécnico Internacional
CID	*Configured IED Description*
DEF	Documento Normativo de Especificação Funcional de Materiais e Aparelhos da EDP Distribuição Energia.
DMA	Documento Normativo de Características e Ensaios de Materiais e Aparelhos da EDP Distribuição Energia
DT	Direcional de Terras
DTR	Detetor de Terras Resistente
DUT	*Device Under Test*
FAT	*Factory Acceptance Tests*
GOOSE	*Generic Object Substation Event*
GPS	*Global Positioning System*
GSE	*Generic Substation Event*
GSSE	*Generic Substation Status Event*
ICD	*IED Capability Description*
IED	*Intelligent Electronic Device*
IHM	Interface Humano Máquina
IRIG-B	*Inter-Range Instrumentation Group*
ISO	*International Standards Organization*
LAN	*Local Area Network*
LC	*Logical Connection*
LD	*Logical Device*

LN	*Logical Node*
MAC	*Media Acess Control*
MICS	*Model Implementation Conformance Statemente*
MMS	*Manufactoring Message Specification*
MT	Média Tensão
OSI	*Open Systems Interconection*
PC	*Physical Connection*
PCL	Posto de Comando Local
PD	*Physical Device*
PICS	*Protocol Implementacion Conformance Statment*
PIXIT	*Protocol Implementation eXtra Information for Testing*
PTR	Proteção de Terras Resistentes
RLC	Rede Local de Comunicação
RND	Rede Nacional de Distribuição
SAS	Sistema de Automação de Subestação
SAT	*Site Acceptance Tests*
SCADA	*Supervisory Control and Data Acquisition*
SCC	Sistema de Comando e Controlo
SCD	*Substation Configuration Description*
SCI	Sistema de Controlo Integrado
SCL	*Substation Configuration Language*
SE	Subestação de Energia Elétrica
SEE	Sistema Elétrico de Energia
SNTP	*Simple Network Time Protocol*
SP	Sistema de Proteção
SPCC	Sistemas de Proteção, Comando e Controlo
SSD	*System Specification Description*
STL	Sistemas de Telecomunicações
SW	*Switch*
TC	Transformador de Corrente
TCP/IP	*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*
TPU	*Terminal Protection Unit*
TT	Transformador de Tensão
UC	Unidade Central
UCA	*Utility Communication Architture*
URTA	Unidade Remota de Teleação e Automação
XML	*Extensible Markup Language*

Capítulo 1

Introdução

A evolução dos Sistemas de Automação nas Subestações de Energia Elétrica motivou a adoção de redes de comunicação mais fiáveis e robustas. Contudo, os diferentes fabricantes de equipamentos adotaram formas mandatárias de comunicação, o que impossibilita a implementação, num mesmo Sistema, de equipamentos de vários fabricantes. Com a introdução da Norma CEI 61850 uma nova filosofia na comunicação foi adotada. Foi introduzida, 'aparentemente ainda de uma forma teórica', a forma de Comunicação Universal, capaz de permitir a livre comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes, eliminando assim o excesso de protocolos existentes. Na prática, a introdução da Norma CEI 61850 nos Sistemas de Subestações acarreta um conhecimento profundo da mesma. Além disso, testes de verificação de conformidade em laboratórios devem ser realizados de forma a aumentar o conhecimento do saber e do fazer e conhecer as barreiras à implementação no terreno da Norma CEI 61850.

A Norma Internacional CEI 61850 é relativamente recente, data da primeira versão em 2003, sendo talvez por este motivo razão para que as empresas-cliente sejam cautelosas na sua implementação, devido aos elevados investimentos iniciais em equipamentos, formação de pessoal, equipamentos de teste, para além da preocupação de manter a continuidade e qualidade de serviço perante a ocorrência de erros. Assim, existe uma motivação para avaliar o impacto no comissionamento e nos testes de funcionamento, identificar a necessidade de adquirir novos equipamentos de teste, melhorar ou alterar a formação e treino das equipas técnicas e verificar a possibilidade de testar a interoperabilidade com os recursos atuais na Operadora Rede de Distribuição portuguesa.

Assim, o objetivo principal deste trabalho, intitulado de: 'Avaliação do Impacto em Comissionamento e Testes de Funcionamento numa Subestação com Protocolo CEI 61850', é avaliar o impacto que a Norma CEI 61850 acarreta para o comissionamento e testes de funcionamento relativamente ao que é atualmente aplicado nas Subestações de Distribuição da Operadora da Rede de Distribuição portuguesa, EDP Distribuição - Energia SA, no

Departamento de Automação e Telecontrolo do Norte. É ainda objetivo deste trabalho compreender a Norma CEI 61850, o estudo dos ensaios de conformidade da Norma CEI 61850, a comparação dos atuais ensaios realizados com os ensaios requeridos pela Norma CEI 61850 e a identificação da necessidade de novos equipamentos de ensaio ou a adoção de novas filosofias para utilização dos equipamentos existentes.

1.1 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em sete capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema em estudo, o enquadramento do trabalho e do problema. É apresentada a motivação e os principais objetivos a alcançar com o desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo dois é realizado o 'Estado da Arte' relativo aos Sistemas Elétricos de Energia. São introduzidos os aspetos mais relevantes de uma Subestação de Energia Elétrica. São também relatadas questões como os equipamentos constituintes de um Sistema de Automação de Subestação, os diferentes níveis e a forma como eles se interligam e ainda as suas principais funções. São ainda identificadas as principais arquiteturas de comunicação local existentes nas Subestações de Distribuição da Operadora da Rede de Distribuição portuguesa.

No capítulo três é realizado o 'Estado da Arte' relativo aos ensaios dos Sistemas de Subestações. São relatados os ensaios atualmente realizados pela Operadora da Rede de Distribuição de Energia Elétrica em Portugal, com o objetivo de verificar quais as diferenças para os diversos ensaios de aceitação da Norma CEI 61850 e identificar onde serão estes inseridos relativamente aos ensaios atuais. A organização do capítulo está de acordo com os diferentes tipos de ensaios existentes, com ênfase aos ensaios em Fábrica, designados de FAT, do inglês: *Factory Acceptance Tests*, e ensaios de campo, no local da instalação, designados de SAT, do inglês: *Site Acceptance Tests*, onde se descriminará o que deve ser avaliado. São ainda apresentados equipamentos específicos para a realização dos ensaios, onde se aborda o *software* e *hardware* de cada um, bem como as suas principais capacidades.

No capítulo quatro é descrito o novo paradigma de comunicação local nas Subestações de Energia Elétrica, o qual se rege pela utilização da Norma Internacional CEI 61850: Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações. É apresentada uma breve introdução acerca das motivações da criação desta Norma, as principais características, vantagens e principalmente a modelação dos equipamentos da Subestação e como são estes vistos pelos outros perante a Rede Local de Comunicação. Por ser tão extensa a abordagem realizada é focada na Rede Local de Comunicações das Subestações, ao nível do comando e controlo do sistema.

No capítulo cinco são apresentados os diferentes tipos de ensaios a serem realizados com o objetivo de verificar que uma determinada solução responde realmente aos requisitos impostos pela Norma CEI 61850 e que o Sistema funciona como o previsto pela mesma. O intuito deste capítulo é demonstrar as diferenças relativamente aos ensaios atualmente

realizados pela Operadora da Rede de Distribuição, mostrando assim o impacto em termos de comissionamento e testes de funcionamento introduzido pela Norma CEI 61850. Por fim, é ainda realizado um levantamento dos equipamentos necessários para os ensaios segundo a Norma CEI 61850, em contraste com os equipamentos identificados para os atuais ensaios realizados pela Operadora da Rede de Distribuição de Energia Elétrica em Portugal.

No capítulo seis é realizada uma abordagem crítica acerca do estado presente da Norma CEI 61850 no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica em Portugal com o intuito de se identificarem barreiras à recolha dos muitos benefícios desta Norma e ainda ao que cada fabricante apresenta no mercado, nomeadamente em termos de ferramentas de engenharia e de equipamentos. É ainda discutido o estado atual do conhecimento prático da Norma CEI 61850 e confirmação com recurso aos ensaios requeridos. Com isto, serão propostos trabalhos futuros a desenvolver no âmbito da utilização integral da Norma CEI 61850, quer ao nível dos fabricantes quer da Operadora da Rede de Distribuição.

O sétimo, e último capítulo, apresenta as principais conclusões e possíveis contribuições deste trabalho de dissertação assim como recomendações de trabalhos futuros a desenvolver.

1.2 Disseminação de Resultados

O trabalho desenvolvido no contexto desta Dissertação irá resultar na escrita de um artigo. O *Abstract* deste artigo deverá ser submetido até dia 18 de outubro de 2013 para a 12ª conferência internacional em *Developments in Power System Protection* (DPSP), a decorrer em Copenhaga de 31 de março a 3 de abril de 2014. O artigo com título provisório "*Impact of Standard IEC 61850 in Substation Projects of Portuguese Electricity Network*" descreve os processos de comissionamento e testes de funcionamento numa Subestação de Distribuição em Protocolo CEI 61850 comparativamente com o que é realizado numa Subestação de Distribuição Atual.

Capítulo 2

Subestação Tipo Alta/Média Tensão

Neste primeiro capítulo técnico serão introduzidos os aspetos mais relevantes de uma Subestação de Energia Elétrica. São discutidas questões como os equipamentos constituintes de um Sistema de Proteção, Comando e Controlo, os diferentes níveis e a forma como eles se interligam e ainda as suas principais funções.

2.1 Notas Introdutórias à Subestação Tipo Alta/Média Tensão

Uma Subestação de Energia Elétrica (SE) é uma instalação que incluí um conjunto de equipamentos elétricos de Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT), no caso de uma SE AT/MT aqui retratada. Estes dois conjuntos de equipamentos interligados permitem a manobra e reconfiguração da rede (disjuntores e seccionadores), a interconexão (barramentos), a transformação e leitura de grandezas elétricas (transformadores de tensão e corrente), a regulação e a compensação (bobinas e condensadores) e elementos de proteção (para-raios, circuito de terras) [1]. Os equipamentos são utilizados com a finalidade de direcionar, controlar e monitorizar o fluxo de energia num Sistema Elétrico de Potência, garantindo uma exploração segura com qualidade e continuidade de serviço adequados.

A SE AT/MT da rede de distribuição é uma instalação mista. Existe aparelhagem de montagem exterior, onde se incluem os painéis de AT e os equipamentos complementares de MT, conforme Figura 2.1. Por outro lado existe aparelhagem de montagem interior, nomeadamente no edifício de comando, incluindo os equipamentos principais de MT e sistemas de alimentação, proteção, comando, controlo e interface homem-máquina, conforme Figura 2.2 [2].

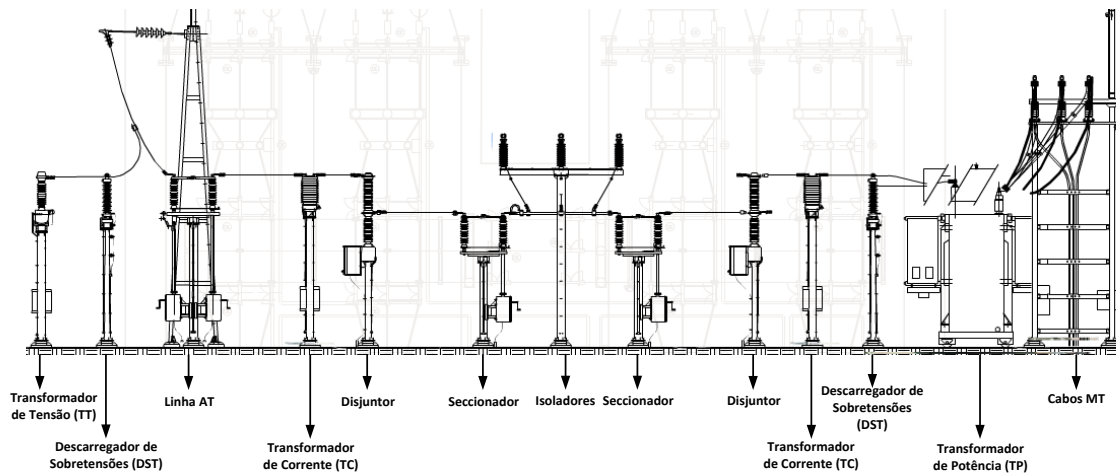



Figura 2.1 - Identificação dos equipamentos do parque exterior da SE AT/MT Tipo [2].

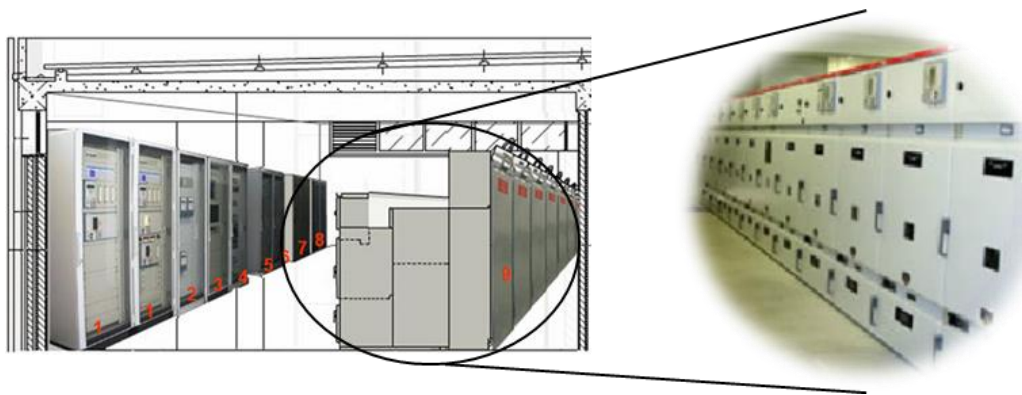



Figura 2.2 - Interior do Edifício de Comando da SE AT/MT Tipo [2].

Na Figura 2.2 é possível identificar:

1. Unidades de Proteção, comando e controlo.
2. Armário de equipamentos de contagem.
3. Posto de Comando Local (PCL).
4. Armário de Telecomunicações.
5. Serviços Auxiliares de Tensão Contínua.
6. Serviços Auxiliares de Tensão Alternada.
7. Armário com Retificador.
8. Armário com Baterias.
9. Quadros de Média Tensão.

2.2 Sistemas de Automação de Subestações

Os Sistemas de Automação de Subestações (SAS) podem ser entendidos como um sistema de supervisão de gestão e controlo de sistemas de distribuição de energia elétrica, composto por Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED's, do inglês: *Intelligent Electronic Devices*) interligados de forma a partilharem informação, através da Rede Local de Comunicação (RLC), de alta velocidade. Os principais motivos que levam à necessidade de automatização de uma SE passam pela:

- Melhoria da qualidade no fornecimento de energia elétrica;
- Redução do tempo de interrupções no fornecimento de energia elétrica;

- Controlo remoto da SE, através do Centro de Comando e Controlo;
- Redução do custo operacional;
- Maior segurança.

Para que uma SE seja automatizada é necessário que tal possua equipamento de proteção, comando, controlo, monitorização, medição e comunicação conectados em rede, baseada em tecnologia de interconexão para redes locais de dados, amplamente utilizadas nas SE da Operadora de Rede Nacional, que se baseiam no envio de pacotes de dados. As vantagens da utilização dos sistemas automatizados passam por:

- Reduzir o tempo de localização e reparo de defeitos;
- Rápida visualização da sequência de eventos ocorridos;
- Reduzir os custos de operação e manutenção;
- Reduzir o trabalho de campo;
- Facilitar a implementação de modificações nos autómatos;
- Reduzir a incidência de ocorrências no sistema elétrico devido a erros humanos de operação.

Os sistemas automatizados mais evoluídos utilizados nas SE's AT/MT passam pela utilização de Sistemas de Proteção, Comando e Controlo (SPCC) que originaram os chamados Sistemas de Controlo Integrado (SCI).

2.2.1 Sistema de Controlo Integrado [3]

Com o decorrer do tempo os SPCC's têm sofrido um constante desenvolvimento. Desde os sistemas primitivos que se baseavam numa filosofia tradicional – filosofia centralizada – onde os Sistemas de Proteção (SP) estavam incorporados num *hardware* (dispositivo) diferente do *hardware* dos Sistemas de Comando e Controlo (SCC), sendo realizados por um único autómato, designado por Unidade Remota de Teleação e Automação (URTA). Com o aparecimento das proteções microprocessadas, uma nova filosofia foi seguida, passando os SCC's a estar distribuídos em diferentes dispositivos, podendo estes incorporar num mesmo dispositivo os SP's, seguindo-se assim uma filosofia descentralizada, designada por SPCC. A filosofia descentralizada deu origem ao atual sistema utilizado pela Operadora da Rede Nacional de Distribuição, designado por SCI. Os SCI's têm como responsabilidade a supervisão, comando e controlo de todos os órgãos da SE, sendo a sua principal característica a integração de várias funcionalidades num único dispositivo – multifuncionalidade - tais como:

- Condições Específicas de Funcionamento (CEF);
- Funções de proteção;
- Funções de automatismo;
- Entrada e saída de informação;

- Registo e tratamento de ocorrências;
- Funções de manutenção e teleparametrização.

2.3 Sistemas de Proteção, Comando e Controlo [2]

Os SPCC's constituem um elemento necessário para o funcionamento de um Sistema Elétrico de Energia atual, de tal modo que a sua conceção, coordenação e atuação perante as perturbações que ocorrem na rede elétrica condicionam a qualidade e a estabilidade do sistema elétrico. A função destes sistemas passa por 'vigiar' o funcionamento da rede elétrica e de garantir a existência de uma exploração segura, com elevados índices de continuidade e qualidade de serviço.

Um SPCC é constituído por diversas unidades/equipamentos, tal como a Unidade Central (UC), IED's, PCL e RLC, as quais permitem a execução de automatismos, a supervisão e o comando da SE, local ou remotamente (à distância). Diferentes aplicações e serviços são disponibilizados pelos SPCC´s, tais como os indicados na Tabela 2.1 [2]:

Tabela 2.1 – Principais aplicações/serviços disponibilizados pelos SPCC's.

Funções	Descrição
Tele Engenharia	Assegura funções de proteção e automatismos.
	Recolha de informações relativas a todo o SPCC.
	Alteração de parâmetros e modos de funcionamento das funções de proteção e automatismo.
SCADA	Supervisão e comando da SE, local ou remotamente.
Telecontagem	Leitura e contabilização de valores de energia transitados nos diferentes painéis da SE.
Teleproteção	Garante a ligação ponto-a-ponto digital entre duas ou três instalações distintas com vista à coordenação das funções de proteção.
Supervisão de equipamentos	Manutenção e/ou supervisão à distância de equipamentos existentes na SE.

Outros tipos de aplicações e serviços complementares podem existir, não sendo eles essenciais para o funcionamento pretendido do sistema, mas asseguram maior segurança e consequentemente melhor qualidade de serviço da SE [2].

2.3.1 Arquitetura e Organização Funcional dos Sistemas de Proteção, Comando e Controlo [2]

A arquitetura de uma SE é composta por diversos módulos de processamento de informação que, devidamente interligados, permitem o bom desempenho de todos os equipamentos instalados na SE. Nos pontos que se seguem são identificados os três grandes níveis hierárquicos, interligados entre si, no qual é dividida a SE Tipo AT/MT.

(i) Nível 0: Nível de Processo

O nível de processo é o nível mais baixo da SE, onde estão situados os equipamentos AT/MT da SE, como os transformadores de medida (TT e TC) e atuadores que são necessários para monitorizar e operar os equipamentos de proteção, como os disjuntores, com os quais o SPCC interage. É por este motivo que o nível de processo não faz parte propriamente dita da funcionalidade do SPCC. O nível 0 tem como principais funções:

- Fornecer um ambiente interno adequado, protegido do sistema de distribuição de energia elétrica;
- Efetuar a aquisição da diferente informação necessária ao comando e controlo do processo;
- Enviar os dados adquiridos para o nível 1;
- Receber sinais de comando e controlo do nível 1 e enviar os sinais para os atuadores.

(ii) Nível 1: Unidade de Painel/Dispositivos Eletrónicos Inteligentes

O nível 1 é o nível intermédio da SE, onde estão situados os equipamentos de proteção e distribuição de energia. O equipamento deste nível consiste em unidades separadas ou combinadas para controlo e proteção de cada zona. O nível 1 tem como principais funções:

- Receber dados do nível 0 e enviar comandos para o nível 1;
- Introduzir informação cronológica se os dados recolhidos ainda não tiverem sido datados no nível 0;
- Implementar funções de medida, proteção, comando e controlo associados à zona protegida;
- Receber comandos do nível 2 e retransmiti-los para o nível 0, quando necessário;
- Disponibilizar ao utilizador (nível 2) a informação e o comando local sobre o painel.

(iii) Nível 2: Unidade Central e Centro de Comando e Controlo

O nível 2 é o nível mais alto da SE, onde estão centralizados os computadores, a interface homem-máquina (IHM) e onde o controlo é realizado, local ou remotamente. O nível 2 tem como principais funções:

- Receber dados do nível 1 e enviar comandos para o nível 1;
- Implementar as funções gerais da SE associadas aos teleserviços e IHM;
- Controlar os diversos periféricos, como impressoras e displays;
- Efetuar o serviço de ligação, para teleserviços, ao centro de controlo remoto.

O SPCC deve assegurar continuamente que todos os dados provenientes da interação com a SE e por si gerados possam ser disponibilizados para o nível superior, Centro de Condução (CC), de modo a permitir que o comando e controlo da SE possam ser efetuados à distância.

Mais uma vez, no que diz respeito à arquitetura e organização funcional do SPCC, apenas os níveis 1 e 2 pertencem aos módulos do SPCC, não fazendo parte deste o nível 0.

2.3.2 Interligação entre os diferentes níveis [2]

A interligação entre os dois níveis mais baixos, os níveis 0 e 1, é realizada por ligações elétricas fio-a-fio. Estas ligações permitem a transmissão das medições realizadas pelos equipamentos de medida para posterior análise pelos IED's, os quais transmitem ordens para os equipamentos de atuação, como disjuntores [4]. A infraestrutura física da rede que assegura a comunicação entre as unidades de painel/IED's e entre estas e a unidade central, barramento da estação, níveis 1 e 2 – RCL, também designadas de LAN, do inglês: *Local Area Network* – deve ser do tipo '*fast ethernet*', suportada em fibra ótica, garantindo uma velocidade de transmissão adequada à realização das diferentes funções inerentes ao SPCC. As RLC são amplamente utilizadas nas SE's do tipo SCI, baseadas no envio de pacotes [4] [5]. Os requisitos de uma RLC de suporte aos SPCC's passam essencialmente por:

- Controlo e separação do tráfego de informação;
- Melhoria da qualidade de serviço;
- Elevada disponibilidade (downtime reduzido, proteção das ligações críticas);
- Escalonamento em termos da largura de banda e do número de redes virtuais (VLAN's, do inglês, *Virtual Local Area Network's*);
- Aumento de segurança.

É apresentada, na Figura 2.3, a arquitetura de alto nível dos três níveis da SE e a sua interligação.

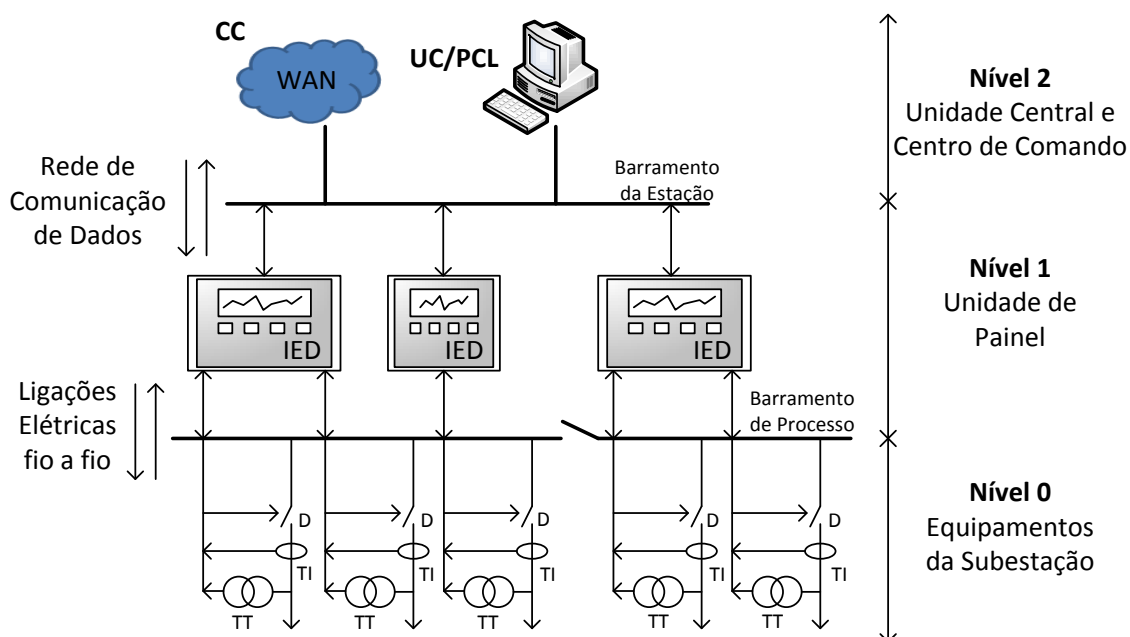



Figura 2.3 - Arquitetura e organização funcional de alto nível do SPCC.

O esquema poderá ser entendido da seguinte forma: os Transformadores de Tensão (TT's) e de Corrente (TC's), que se encontram no Nível 0, transmitem os sinais de tensão e corrente, respetivamente, aos IED's, localizados no Nível 1. Os IED's fazem a aquisição dos dados e caso os valores estejam fora da gama de valores aceitáveis dão ordem aos órgãos de corte da SE, disjuntores (D), do Nível 0, para atuarem. De seguida, a informação presente nos IED's será transmitida, pela RLC, para os dispositivos do Nível 2, nomeadamente para a UC e para o PCL localizados na SE, para controlo local da mesma. Esta mesma informação será ainda transmitida para o CC, depois de processada e multiplexada, para controlo da SE de forma remota [4].

2.3.3 Redes Locais de Comunicação

As RLC's, ou LAN's, de uma SE ou de um SPCC, emergem nos tempos mais recentes, como um elemento vital para o funcionamento de todos os serviços e aplicações das SE's, assegurando a comunicação entre a UC, os IED's e o PCL, sendo constituída por uma infraestrutura física e por equipamentos de comunicação, como '*routers*', '*switchs*', '*hubs*', '*modems*' ou conversores de meio físico. Por outro lado, a rede de comunicação que garante a ligação entre a SE de distribuição e o CC remoto é classificada como uma Rede de Longa Distância (WAN, do inglês: *Wide Area Network*).

Para um melhor funcionamento de uma RLC, é fundamental uma normalização a nível de protocolos utilizados em cada camada, para que cada equipamento comunique com a respetiva camada de outro dispositivo instalado na mesma LAN. Cada camada desempenha um conjunto de funções específicas, em que estas funções são executadas de acordo com um conjunto de regras que estão definidas para cada uma. Este conjunto de regras é designado protocolo. Para qualquer uma das camadas utilizadas é necessário que todos os equipamentos existentes na rede de comunicação utilizem o mesmo protocolo. Esta normalização a nível dos protocolos utilizados em cada camada permite que cada dispositivo comunique com a respetiva camada de outro dispositivo instalado na mesma rede.

Atualmente existem implementados nos sistemas de comunicação da Rede Nacional de Distribuição vários protocolos que definem e permitem a transmissão de toda a informação relativa ao sistema elétrico, em tempo real, local e remotamente. Os protocolos de comunicações a utilizar na RLC dos SPCC's deverão seguir uma solução caracterizada por uma alta fiabilidade e performance na transmissão de dados, garantindo uma grande flexibilidade na implementação de futuros *upgrades* do SPCC. Os protocolos de comunicações devem ser normalizados, preferencialmente de acordo com a normalização CEI aplicável, desde o nível físico até ao nível de aplicação, e a sua escolha deve ser feita tendo em consideração a arquitetura física do SPCC e os tempos mínimos exigidos no relacionamento interfuncional dos sistemas.

(i) Requisitos para uma Rede Local de Comunicação [5]

Uma RLC deve cumprir um conjunto de requisitos que garantem o seu bom funcionamento. Alguns dos requisitos são apresentados nos pontos que a seguir se descrevem.

Performance

Para que uma RLC tenha um funcionamento eficiente, é imperativo que a execução das diversas funções seja correta e não exceda o tempo previsto. A performance poderá variar de acordo com a distribuição das funções pelos vários níveis do SPCC, mas terá sempre de ser adequada à natureza crítica dos dados a transmitir e aos tempos de resposta a atingir. Desta forma devem ser cumpridas um conjunto de condições que garantam uma elevada consistência temporal, necessária para satisfazer:

- Cronologia correta;
- Operações cíclicas;
- Sincronização de ações;
- Operações multitarefas;
- Controlo sequencial;
- Imagem correta de evolução do processo.

De modo a cumprir estas condições é necessário uma:

- Sincronização por 'broadcast' e/ou GPS ou por protocolo de comunicações;
- Minimização do tempo de aquisição de dados;
- Otimização do tempo de resposta;
- Elevada capacidade de gestão temporal;
- Uniformidade do tempo de resposta de toda a rede;
- Eliminação de paragens e retransmissão intermédia;
- Minimização das mensagens de '*overhead*'.

Tempos máximos admitidos para funções críticas

Atendendo à importância e rapidez de resposta que a rede elétrica necessita, o dimensionamento da RLC do SPCC, deve garantir o cumprimento de todos os tempos máximos de atuação para as funções críticas do sistema. Em [5] são apresentados os tempos máximos de atuação para determinadas funções.

Fiabilidade e Redundância das Redes Locais de Comunicação

A fiabilidade e redundância das RLC apresentam-se como fatores essenciais para o correto funcionamento dos SPCC's, contribuindo para uma otimização dos indicadores de serviço. Uma rede local de dados deve ser estruturada de forma redundante, de modo que a

ocorrência de uma única falha não coloque em risco o funcionamento correto do restante sistema, existindo para isso dois tipos de redundância:

- **Redundância dinâmica**: em que o elemento que garante a redundância funcional da rede está normalmente desativado, só entrando em funcionamento em caso de falha;
- **Redundância estática**: na qual o elemento principal e redundante está 'on-line', escolhendo o sistema, em caso de avaria, aquele que não apresentar erros.

De forma a garantir a fiabilidade e a continuidade, em caso de avaria nas redes de comunicação, são utilizados protocolos de árvores de abrangência como: *Spanning Tree Protocol* (STP), *Rapid Spanning Tree Protocol* (RSTP) e *Multiple Spanning Tree Protocol* (MSTP). Estes protocolos permitem uma reconfiguração da rede, em caso de falha de algum componente ou ligação. A utilização de redes de comunicação em duplo anel, bem como a utilização de sub-redes de dados dentro da LAN, são fatores fundamentais para garantir o aumento da fiabilidade e redundância nas redes locais de dados das SE's.

Segurança nas Redes Locais de Comunicação

Torna-se imperativo garantir a segurança de qualquer RLC, tanto a nível de possíveis erros, bem como restringindo o acesso apenas a entidades devidamente autorizadas, sendo esta uma área cada vez mais importante nas redes de distribuição de energia elétrica, pois o seu bom funcionamento está fortemente dependente das comunicações. A necessidade de aceder remotamente à SE exige a implementação de funções de segurança como encriptação (confidencialidade) e autentificação, devendo qualquer acesso à rede ser rigorosamente controlado. A área da segurança de redes de comunicação continua a ser uma área de estudo e desenvolvimento, existindo vários requisitos de segurança que são necessários cumprir numa rede de comunicação, tais como:

- **Confidencialidade**: diz respeito à prevenção de acessos não autorizados aos dados;
- **Integridade:** está relacionada com a prevenção contra roubo ou modificação não autorizada dos dados;
- **Disponibilidade:** refere-se à prevenção contra a não rejeição do serviço e garantia de acesso autorizado aos dados;
- **Não-repudiação:** é relativa à prevenção contra a negação de uma ação que já foi tomada ou reivindicação de uma ação que não ocorreu.

De forma a garantir a segurança da rede, interligando a RLC com a rede de acesso remoto, é implementado um *Firewall*. As suas principais funções são controlar o tráfego de informação na rede de comunicação e bloquear a tentativa de intrusão a possíveis entidades mal-intencionadas.

Flexibilidade e Disponibilidade

A RLC deve estar preparada para eventuais alterações na sua configuração, devendo garantir também que a avaria de um componente não põe em causa o bom funcionamento do restante sistema, como por exemplo a avaria de um IED, devendo esta situação ser automaticamente sinalizada. De igual modo uma avaria na RLC não deverá condicionar o funcionamento dos vários IED's, devendo estes ficar a funcionar de forma autónoma.

Expansão

A adição de novos módulos de *hardware* não deverá implicar a substituição do *software* de comunicações, devendo esta operação originar somente uma reconfiguração da topologia do SPCC (preferencialmente *on-line*). Como resultado da expansão do SPCC, e dentro dos respetivos limites (que serão indicados pelo fornecedor), não se deverá verificar a degradação da *performance* do sistema de comunicação.

Interoperabilidade

Deve ser assegurada a possibilidade de interligar vários equipamentos de diversos fabricantes, sem que seja colocada em causa a performance global do SPCC. Este requisito será referido como essencial para a implementação da Norma CEI 61850.

Vida Útil

A arquitetura da RLC selecionada deve permitir a coexistência de diferentes tipos e gerações de equipamentos constituintes do SPCC, com diferentes funções e capacidades.

(ii) Arquitetura de Comunicação

A arquitetura de comunicação deverá seguir uma topologia tipo *bus* que permita o uso de fibras óticas, devendo o protocolo de comunicações usar como referência o modelo OSI, do inglês: *Open System Interconnection*. O Modelo OSI é um modelo de referência para a interconexão de sistemas abertos que pode ser utilizado no estudo e projeto de redes, tendo sido desenvolvido pelo ISO, do inglês: *International Standards Organization*, Organização Internacional de Normalização. O modelo OSI promove um ambiente aberto para partilha de informação e serviços que permite que equipamentos de fabricantes distintos comuniquem utilizando protocolos aceites pelos membros da ISO. O Modelo foi construído com base numa arquitetura com várias camadas, especificando as diferentes funções e serviços de cada uma. Os componentes de *hardware* relacionados com a rede de comunicação são especificados nas camadas mais baixas. O modelo OSI apresenta uma arquitetura com sete camadas, como apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Camadas do Modelo OSI.

Camada	Função
7 – Aplicação	Selecionar o serviço apropriado para a aplicação.
6 – Apresentação	Assegurar a conversão do código e formatação dos dados.
5 – Sessão	Coordenar a interação entre os processos da aplicação em equipamentos terminais da rede.
4 – Transporte	Assegurar a integridade dos dados e qualidade de serviço entre equipamentos terminais da rede.
3 – Rede	Assegura o endereçamento dos dados para que cheguem corretamente ao equipamento de destino.
2 – Ligação de Dados	Transfere os dados para outro equipamento da rede, através do meio físico.
1 – Física	Responsável pelo envio dos dados para o meio físico.

Descreve-se nos pontos a seguir algumas particularidades das camadas que preferencialmente devem ser utilizadas no protocolo de comunicações, nomeadamente as camadas Física, Ligação e Aplicação.

Camada Física

A camada física será responsável por assegurar a transferência de informação de um equipamento para todos os outros interligados ao *bus*. A definição da velocidade de transmissão deverá ser feita tendo como princípio que devem ser garantidos os tempos mínimos de atuação exigidos para o funcionamento do SPCC, devendo o sistema ter a possibilidade de atribuir velocidades diferentes para requisitos funcionais diferentes de acordo com a caracterização funcional do sistema. As velocidades de comunicação mínimas serão de 10*Mbits*. O meio de transmissão físico deverá assegurar imunidade a interferências eletromagnéticas, segundo as normas CEI 61000 e IEEE C37.90, isolamento galvânico através de acopladores óticos, suporte em fibra ótica, entre outros.

Camada de Ligação

A camada de ligação deverá fornecer dois tipos de serviços de transmissão, sendo eles a troca de variáveis identificadas e a transferência de mensagens. Estas trocas poderão acontecer ciclicamente ou sob um explícito pedido do utilizador. Os nomes dos objetos e a sua prioridade devem ser estabelecidos quando o sistema é configurado;

Camada de Aplicação

Os serviços fornecidos pela camada de ligação e utilizados pela camada de aplicação deverão ser de dois tipos, serviços periódicos e aperiódicos, tais como:

- **serviços de leitura e escrita local**: a camada de aplicação fornece aos utilizadores serviços locais de leitura e escrita de variáveis. Estes serviços utilizam serviços da camada de ligação para colocar valores nos buffers ou remover valores dos buffers. Estes serviços não geram tráfego no bus.
- **serviços de leitura e escrita remota**: a camada de aplicação será a responsável pela implementação dos serviços de leitura e escrita remotos para variáveis identificadas;
- **indicações da transmissão e receção da variável**: o utilizador deverá ser informado da transmissão e da receção de uma variável identificada. Ele poderá então usar esta informação, por exemplo, para se sincronizar a si próprio com uma parte da informação da rede. Quando a camada de aplicação receber uma indicação de transmissão ou receção para uma variável produzida ou consumida, deverá avançar com esta indicação para o utilizador;
- **informação atualizada da informação consumida**;
- **informação da consistência dos dados no espaço e no tempo**: Deverá ser garantida uma consistência dos dados quer no espaço quer no tempo. Deverão ser criados mecanismos que forneçam ao utilizador o estado da informação que ele consome. De igual modo o utilizador deverá conhecer o estado correto da informação em todas as entidades de comunicação que a utilizam;
- **serviços de mensagem baseados no MMS da ISO**.

(iii) Tipos de Redes Locais de Comunicação de um Sistema de Proteção, Comando e Controlo

Diferentes topologias das RLC surgiram quando se começaram a integrar equipamentos de diferentes fabricantes entre SE's. Cada fabricante elaborou o seu próprio modelo de RLC. Nos pontos que se seguem pretende-se apresentar as principais topologias adotadas pela Operadora da Rede, diretamente relacionadas e dependentes do fabricante em uso na SE.

LonWorks [6]

A RLC *LonWorks* é ainda utilizada em algumas SE's, onde um determinado número de IED's está ligado entre si. O protocolo *LonWorks* adere ao modelo de arquitetura de redes OSI, cobrindo as sete camadas. É um tipo de rede fiável, mas que tem caído em desuso, devido às suas limitações quando comparado com redes do tipo *ethernet*.

Nas redes *LonWorks* cada IED tem uma capacidade própria de processamento, podendo enviar e receber dados diretamente de outros dispositivos sem a necessidade de haver um controlador central que faça de intermediário entre eles, não havendo também a necessidade de um conhecimento da topologia da rede de comunicação e dos nomes, endereços e funções dos outros equipamentos. A informação é transmitida através de pacotes de dados que podem ser recebidos por um ou mais nós. Uma rede *LonWorks* é assente em três elementos chave:

- **Dispositivos** (nós, IED's): possuem uma interface física que permite a sua ligação ao meio de transmissão e incluem processamento local e recursos de rede, podendo ser ligados a dispositivos locais. Em cada nó existe uma unidade com sensores e dispositivos de controlo, um transcetor responsável pela conexão elétrica do dispositivo ao meio, um *neuron ship*, dispositivo semicondutor, desenvolvido para dotar os sensores e equipamentos de controlo de inteligência artificial e capacidade de funcionar numa rede de comunicação e uma fonte de alimentação.
- **Protocolo de comunicação**: Protocolo *LonWorks* (*LonTalk*, adaptado pela Efacec), o qual permite acesso ao meio de suporte físico, confirmação da transação, comunicação ponto-a-ponto, prioridade das transmissões, deteção de mensagem duplicada, impedimento da ocorrência de colisões, reentradas automáticas, mistura de várias taxas de transmissão, deteção e correção de erros, fiabilidade na entrega e integridade dos dados;
- **Canal de Comunicação** (Fibra Ótica): O canal de comunicação é o suporte físico através do qual há tráfego de dados. Todos os nós conectados ao mesmo canal devem possuir transceivers compatíveis entre si.

Numa rede *LonWorks*, cada unidade (IED) tem um respetivo número de identificação, único pertencente ao dispositivo, e um endereço, dependendo da posição em que é colocado na rede. As principais desvantagens do tipo de rede *LonWorks* são:

- Sempre que um IED avaria é necessário, para substituição do mesmo, efetuar uma configuração do novo dispositivo, sendo necessário reconfigurar a rede;
- Não é atribuído a cada IED um endereço de IP, não sendo portanto possível aceder-lhe remotamente;
- Quando se pretende introduzir na RLC, um equipamento de outro fabricante, é necessário instalar uma rede de comunicações independente, pois o protocolo não é o mesmo, como é o caso do protocolo SPA Bus utilizado pela ABB quando existe outra RLC, como a *LonWorks*;
- Limitações de comunicação da rede *LonWorks*, em termos de velocidade, largura de banda, entre outros.

***LonWorks* nas Subestações da Rede Nacional de Distribuição (RND) da Efacec**

A tecnologia *LonWorks* da Efacec ainda é utilizada em algumas SE's, não sendo contudo implementada nas novas instalações do tipo SCI. A rede *LonWorks* permite que cada equipamento envie e receba informação de outro equipamento independentemente da estrutura da rede (topologia e endereços de outros equipamentos). A Figura 2.4 apresenta, a título de exemplo, uma RLC que tem implementada a tecnologia *LonWorks* da Efacec, com topologia em anel. Os IED's existentes nos diversos painéis comunicam entre si utilizando o protocolo de comunicação *LonWorks*, com exceção dos IED's da ABB, instalados em cada um

dos painéis de linha AT, que levou à necessidade de instalar uma rede de comunicação independente uma vez que a ABB usa um protocolo diferente, *SPA Bus*, para se comunicarem. As interligações físicas entre os diferentes equipamentos são realizadas em fibra ótica.

A UC deve possuir a capacidade de suportar vários protocolos de comunicação para garantir a comunicação com todos os IED's. Uma vez não que não existe uma normalização para os protocolos a utilizar na rede de comunicação de dados da SE, cada fabricante utiliza o seu próprio protocolo, paradigma esse que tende a acabar.

A RLC da SE comunica com o CC através do protocolo EDP, podendo também, através de *router* ou *modem*, ser interligada à rede TCP/IP.

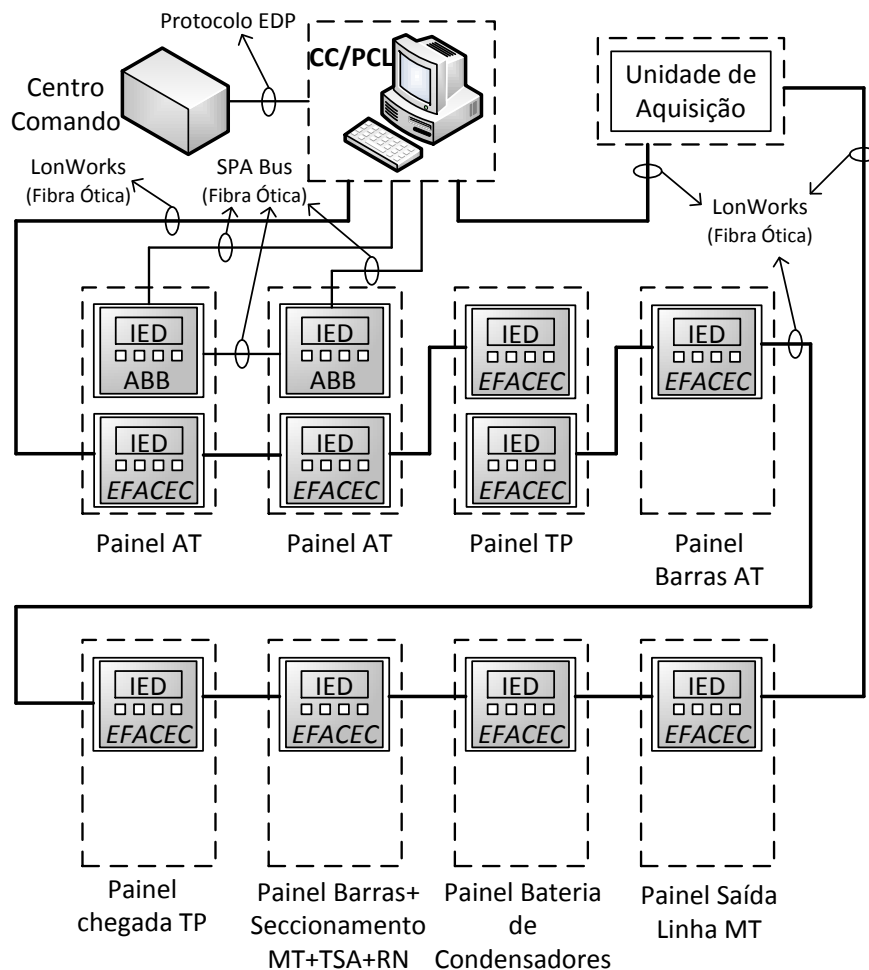



Figura 2.4 - Arquitetura *LonWorks* para o sistema de comunicação dos SPCC's utilizada pela Efacec [6].

Redes *LON* das SE's da RND da ABB [6]

Ao contrário da topologia apresentada para as redes *LonWorks*, com topologia em anel, surgiu também a implementação de topologia em estrela, implementada pela ABB, designada de *LON*. Neste caso a ligação à Unidade Terminal Remota (RTU) é realizada em suporte físico em fibra ótica, sendo utilizado o protocolo de comunicação definido pela CEI 60870-5-104. A ligação em estrela dos vários IED's do edifício de comando é assegurada por um acoplador em estrela da ABB.

A ligação com o Centro de Despacho da EDP é definida pela CEI 60870-5-101, que se encontra em processo de migração para CEI 60870-5-104, o qual se baseia na comunicação por redes públicas, como a internet, através de transmissão por IP, do inglês: *Internet Protocol*, apoiando-se em dois meios físicos de transmissão, como sendo a fibra ótica, para comunicação com fio, ou GPRS, para comunicação sem fio (*wireless*) [6]. A ligação com o Centro de Teleparametrização da EDP pode ser feita através da linha telefónica, de uma rede *ethernet* ou de GSM.

A Figura 2.5 apresenta, a título de exemplo, uma RLC que tem implementada a tecnologia *LON* da ABB, com topologia em estrela.

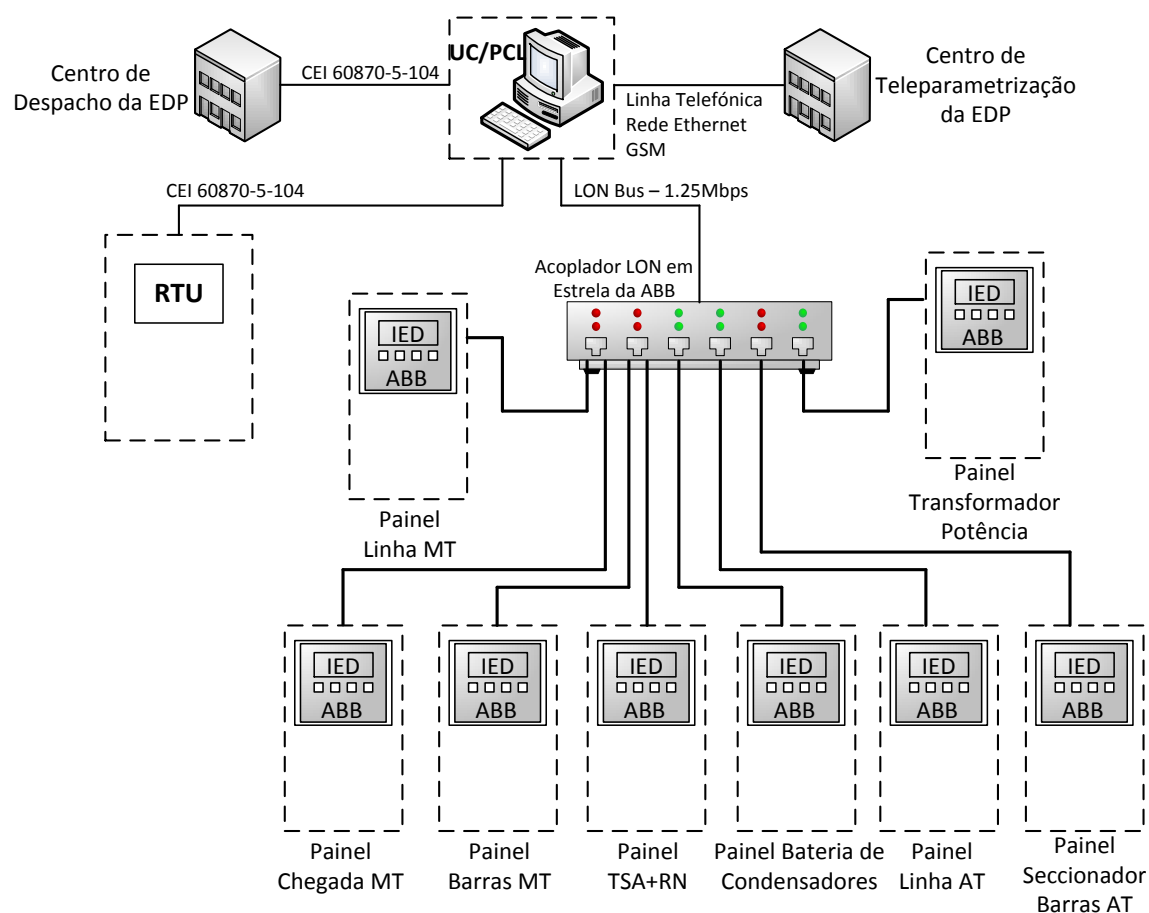



Figura 2.5 - Arquitetura *LON* para o sistema de comunicação dos SPCC's utilizada pela ABB [6].

Ethernet [6]

A *ethernet*, também designada de Norma IEE 802.3, é uma tecnologia de interconexão para redes locais de dados, LAN's, amplamente utilizada nas SE's do tipo SCI da RND, que se baseia no envio de pacotes. As redes *ethernet* vieram substituir as redes *LonWorks* e *LON* devido às suas vantagens. A tecnologia *ethernet* pode ser definida como um protocolo, que tem como base o Modelo OSI, utilizando apenas duas das suas sete camadas, camada física e de ligação de dados, como definidas na secção (ii).

A camada de ligação de dados é subdividida em duas camadas, como sejam a do Controlo e Acesso ao Meio (MAC, do inglês: *Media Acess Control*), que contém os protocolos que controlam o acesso ao meio de transmissão e faz o encapsulamento de tramas, e a do Controlo de Ligação Lógica (LLC, do inglês: *Logical Link Control*).

Uma rede *ethernet* permite que vários dispositivos estejam conectados a uma mesma linha de difusão de dados (*broadcast*), em que a comunicação se baseia no mecanismo CSMA/CD, do inglês: *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect*, que permite um acesso múltiplo com vigilância e deteção de colisão da informação, sendo atribuído a cada máquina um endereço único, designado de endereço MAC (endereço físico da interface da rede). Caso haja colisão, este protocolo permite a sua retransmissão. As principais razões de sucesso de implementação das redes e*thernet* passam por:

- Simplicidade e rapidez de instalação;
- Eficiência em termos de custos;
- Fiabilidade;
- Possui várias funcionalidades que permitem a otimização da rede;
- Possibilita a transmissão de dados em full-duplex, ou seja permite a transmissão e receção de dados ao mesmo tempo entre os mesmos equipamentos.

Uma das grandes vantagens da rede e*thernet* é o facto de permitir a ligação simultânea de diversos equipamentos a um ponto comum da rede, através da utilização de *switch's*. São assim garantidos os requisitos temporais impostos pelos tempos máximos de funcionamento das proteções e automatismos. Um *switch* utiliza um mecanismo de filtragem e de comutação muito similar ao utilizado pelas pontes estreitas (*gateways*), analisando a fonte e o destino das mensagens, através da elaboração de uma tabela. O facto de conhecer a porta do destinatário, o comutador difundirá a mensagem na porta adequada, ficando as restantes livres para transmissões de outras mensagens, simultaneamente, tudo isto com base no mecanismo de acesso ao meio CSMA/CD [6].

Existem vários tipos de rede *ethernet*, com diferentes velocidades de transmissão de dados, tais como *Ethernet* (10 Mbps); *Fast Ethernet* (100Mbps), *Gigabit Ethernet* (1 Gbps) e *10-Gibatit Ethernet* (10 Gbps). Atualmente nas SE's do tipo SCI da RND é utilizada a *Fast Ethernet*, com designação científica IEE 802.3, que não é mais que um avanço do padrão *Ethernet*, mantendo a mesma estrutura, bem como normas de implementação.

Existem várias formas de implementação física da rede *Fast Ethernet*, tais como em Cobre, como por exemplo o cabo UTP, ou em Fibra Ótica, podendo esta ser do tipo monomodo ou multimodo. Uma das grandes vantagens da implementação da fibra ótica é a capacidade que ela possui relativamente à imunidade ao ruído eletromagnético, que é uma das grandes desvantagens dos cabos de cobre.

A implementação das redes do tipo e*thernet*, em detrimento da tecnologia *LonWorks*, constituiu um avanço significativo nos SPCC´s das SE´s, tendo para isso, contribuído também, a evolução dos IED´s. As principais vantagens das redes *ethernet* em relação à rede *LonWorks* passam por uma simplificação da configuração da rede e de cada equipamento, uma maior capacidade e rapidez de tráfego de informação e ainda a possibilidade de configurar cada equipamento na rede IP. Uma RLC do tipo *ethernet* possuí as seguintes características físicas de ligação:

- Estruturada em anel entre os vários switchs, com cabo de fibra ótica;
- IED´s ligados ao respetivo switch em estrela, através de fibra ótica monomodo;
- Ligações do *switch* principal aos equipamentos, como GPS, UC, PCL, CIB (Serviços Auxiliares) e *router*, em cabo entrelaçado UTP.

A utilização da rede e*thernet* como meio de comunicação local entre os dispositivos das SE's pode reger-se segundo o protocolo CEI 60870-5-104, ou mais recentemente segundo o protocolo CEI 61850.

***Ethernet* com protocolo CEI 60870-5-104**

Apesar da rede e*thernet* permitir tirar um maior partido de uma RLC, os equipamentos vêm equipados com suporte para protocolos proprietários, tal como já acontecia na rede *LonWorks*, um exemplo disso é o protocolo CEI 60870-5-104. Desta forma cada fabricante podia desenvolver os seus próprios módulos e protocolos de comunicação, não existindo nenhuma uniformização, registando-se incompatibilidades em várias camadas de protocolos, quer a nível físico, quer a nível da forma como a informação é endereçada. Sempre que seja necessário utilizar um equipamento de um fabricante diferente da estrutura implementada, é utilizado, à semelhança da rede *LonWorks*, outro protocolo, neste caso o CEI 60870-5-103. Este protocolo visa quebrar barreiras de interoperabilidade entre os vários dispositivos.

Na Figura 2.6, a título de exemplo, está representada uma RLC, que utiliza o protocolo CEI 60870-5-104 como base. O funcionamento de dois SPCC's de diferentes fabricantes é isolado, devido à incompatibilidade de protocolos e equipamentos não permitindo estabelecer qualquer ligação entre eles, devendo a UC possuir a capacidade de comunicação com distintos protocolos.

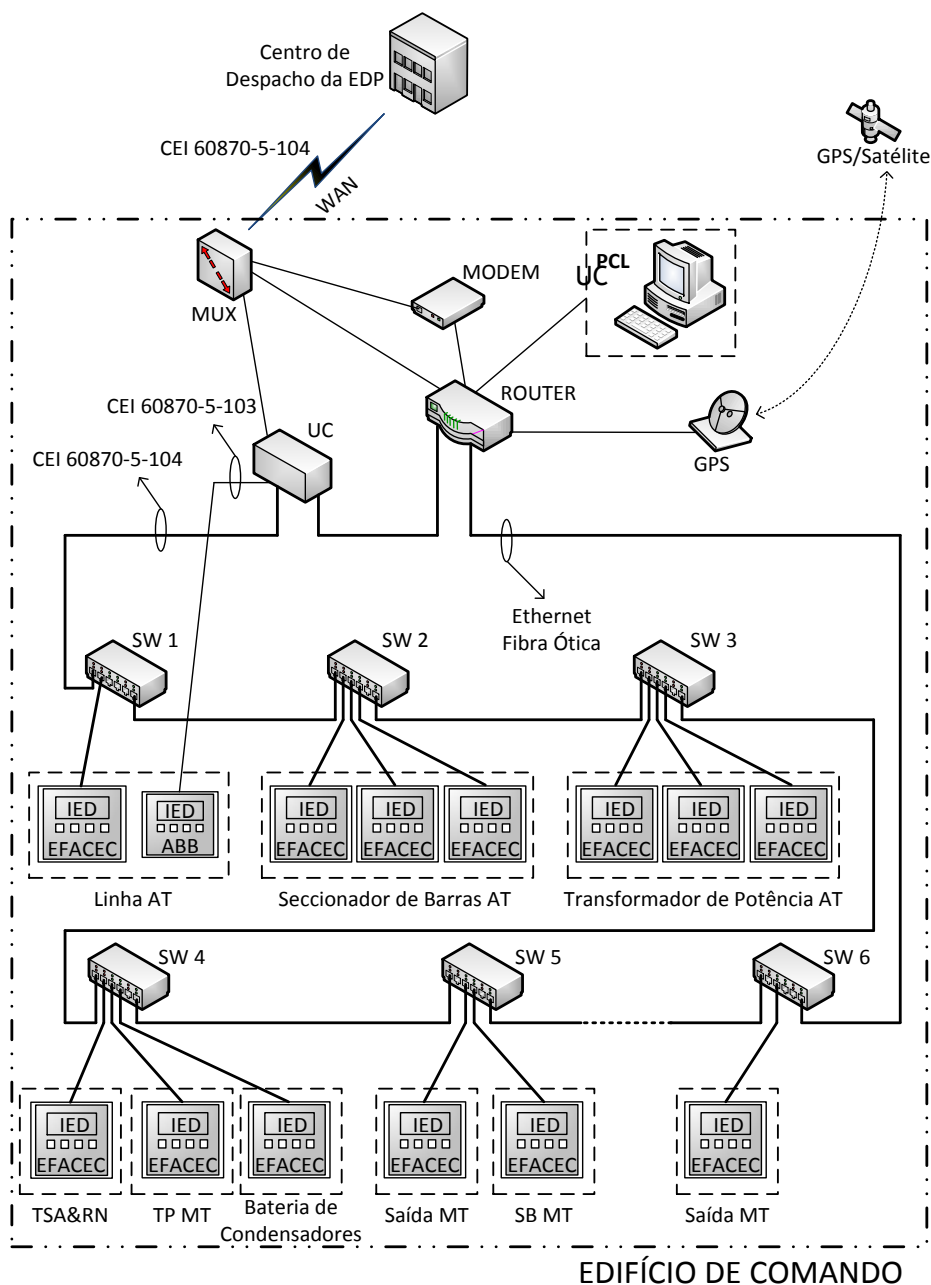



Figura 2.6 - Arquitetura *Ethernet* em protocolo CEI 60870-5-104 [6].

Ethernet com protocolo CEI 61850

As desvantagens da utilização do protocolo CEI 60870-5-104 foram colmatadas com a recente adoção da Norma CEI 61850, que tem como grande vantagem a interoperabilidade entre equipamentos de diversos fabricantes. O aparecimento desta norma levou a uma reformulação das RLC, estabelecendo critérios para a uniformização. Na Figura 2.7 está representada, a título de exemplo, uma rede local de dados baseada no protocolo CEI 61850, onde se podem verificar a interação entre equipamentos de diferentes fabricantes.

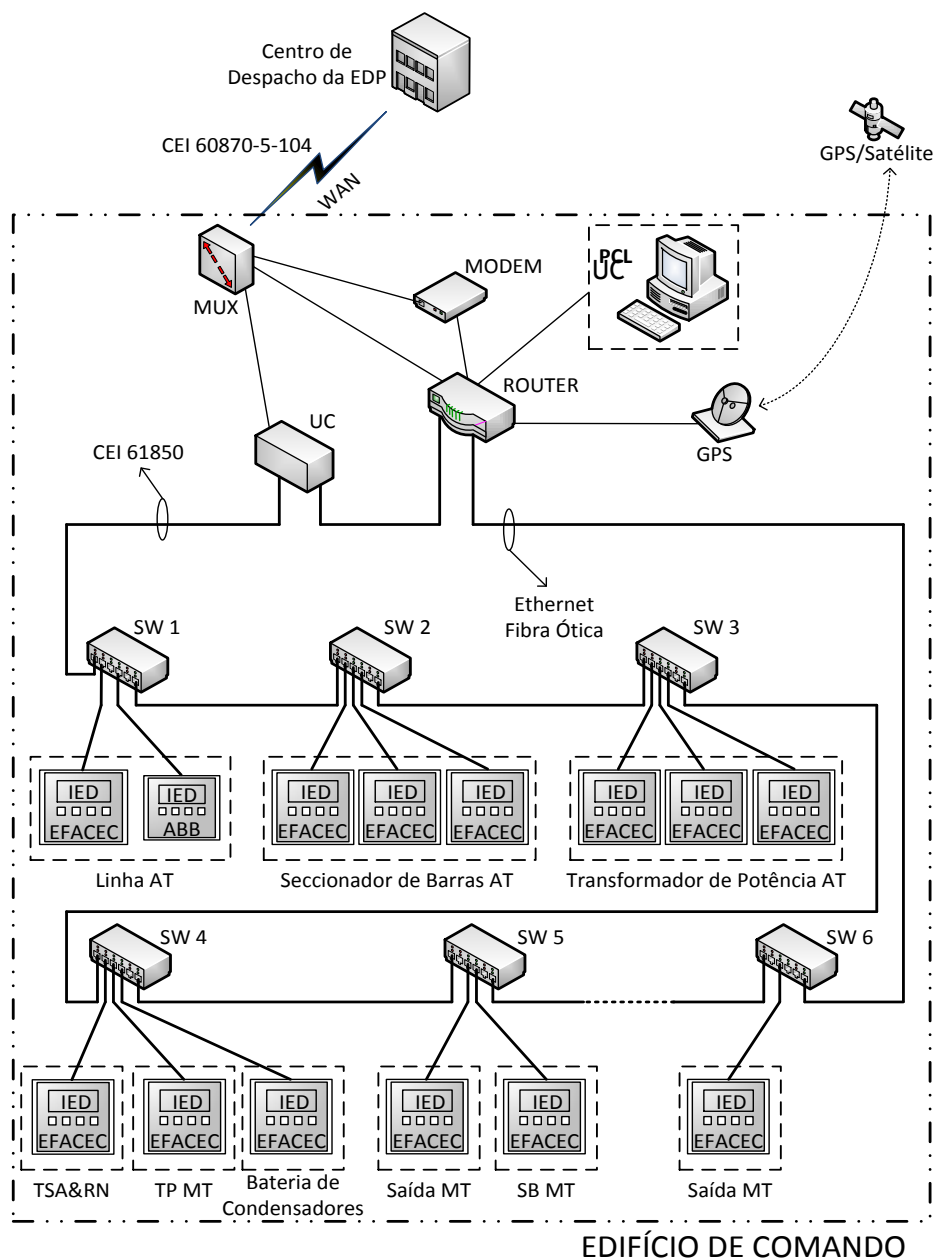



Figura 2.7 - Arquitetura *Ethernet* em protocolo CEI 61850.

2.3.4 Principais componentes de um Sistema de Proteção, Comando e Controlo [7]

Neste ponto tomar-se-á um conhecimento básico dos principais componentes que compõem os SPCC´s, nomeadamente dos componentes que constituem o nível 1 e 2. Nos pontos a seguir será feita uma breve descrição desses mesmos componentes.

(i) Dispositivo Eletrónico Inteligente

A cada tipo de painel presente na SE devem estar associados IED's, os quais através das suas entradas e saídas externas permitem a interação com os equipamentos existentes na instalação e o correto funcionamento do SPCC. O número total de entradas e saídas, por

painel ou IED, está dependente da tecnologia e capacidade de integração dos diversos dispositivos que compõem o SPCC, as quais estão identificadas em [8]. Os IED's têm como principais tarefas [4]:

- Execução de funções de automação, proteção, comando e controlo do processo (nível 0 – SE AT/MT);
- Responsáveis pela aquisição de informação proveniente do processo, como sinalizações e medidas, bem como pela emissão de ordens para o processo, por solicitação das funções de telecomando, proteção ou automatismo;
- Permite a implementação de funções de automatismo e de proteção, bem como a interação com outros IED's ou com a UC de processamento, através da RLC (sinalizações internas, parâmetros e telecomando), a qual permite ainda consultar e alterar os parâmetros das regulações das funções residentes nos diferentes IED's;
- Possibilidade de comando local dos órgãos de manobra de cada painel;
- Possuem um sistema de autodiagnóstico que permite a verificação contínua do estado do *hardware* e *software* de todos os seus módulos funcionais;
- Permite recolher e visualizar registo de osciloperturbografia e cronológicos de acontecimentos.

São definidos como dispositivos numéricos, multifuncionais, de proteção, comando e controlo equipados com um microprocessador poderoso. Todas as tarefas são processadas digitalmente, desde a obtenção de valores medidos até aos comandos para os disjuntores.

Interface Frontal

Na Figura 2.8 apresentada é possível ver-se a descrição do painel frontal de um IED exemplo da Efacec, do modelo TPU 420. A partir da sua tela LCD e de um conjunto de teclas numéricas é possível obter diversa informação, como mensagens relacionadas a eventos ocorridos, parâmetros de configuração e de ajuste, operações e valores medidos, assim como a alteração de parâmetros e ajustes, como *settings* de atuação, tempos de disparo, ativação e desativação de funções. Além disto, é ainda possível o controlo dos disjuntores e outros equipamentos da SE [1].

Interface Traseira

Na parte traseira do mesmo IED, apresentada na Figura 2.9, é visível um conjunto de entradas e saídas, agrupadas por cartas, divididas em entradas analógicas e entradas e saídas binárias ou digitais. A carta correspondente às entradas analógicas tem como finalidade receber os valores medidos pelos TT's e TC's e converter esses dados de forma a adequa-los ao processamento interno do dispositivo. Estas entradas servem também para injeções de correntes e tensões para ensaios destes dispositivos. O conjunto de cartas correspondente às entradas e saídas binárias, permitem, por um lado, através das entradas, obter os estados

atuais da aparelhagem da SE e qualquer alteração no sistema, e por outro, através das saídas, atuar sobre alguns equipamentos e enviar sinalizações remotas de eventos importantes.

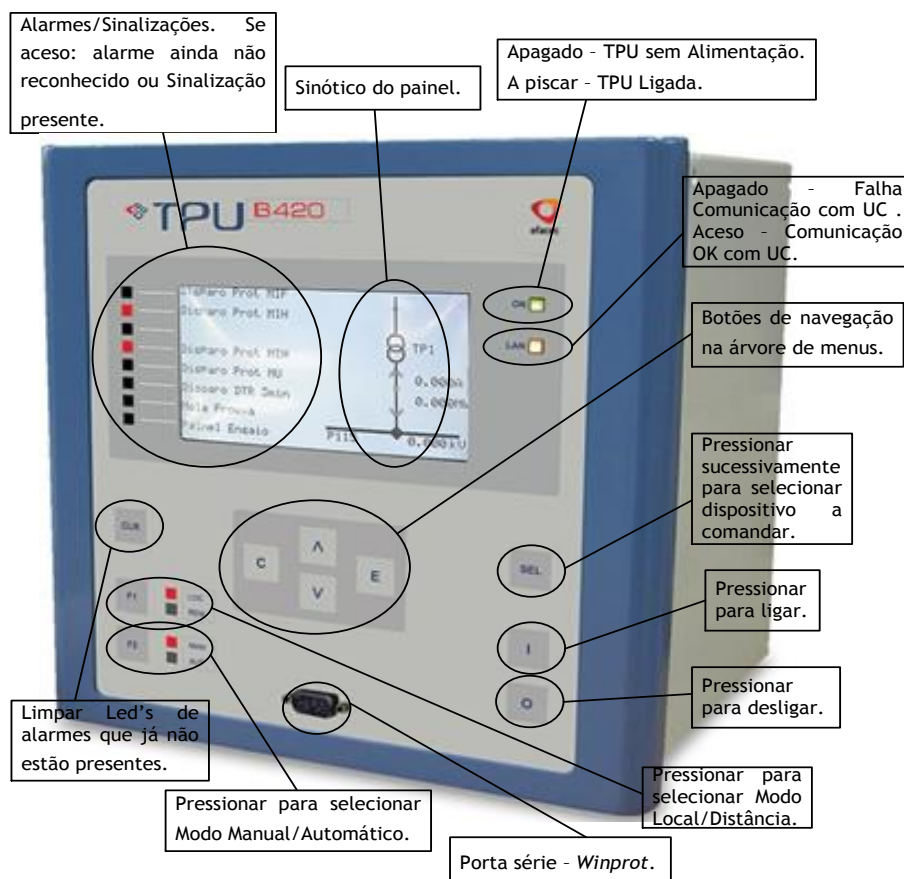



Figura 2.8 - Descrição do painel frontal de um IED [9].

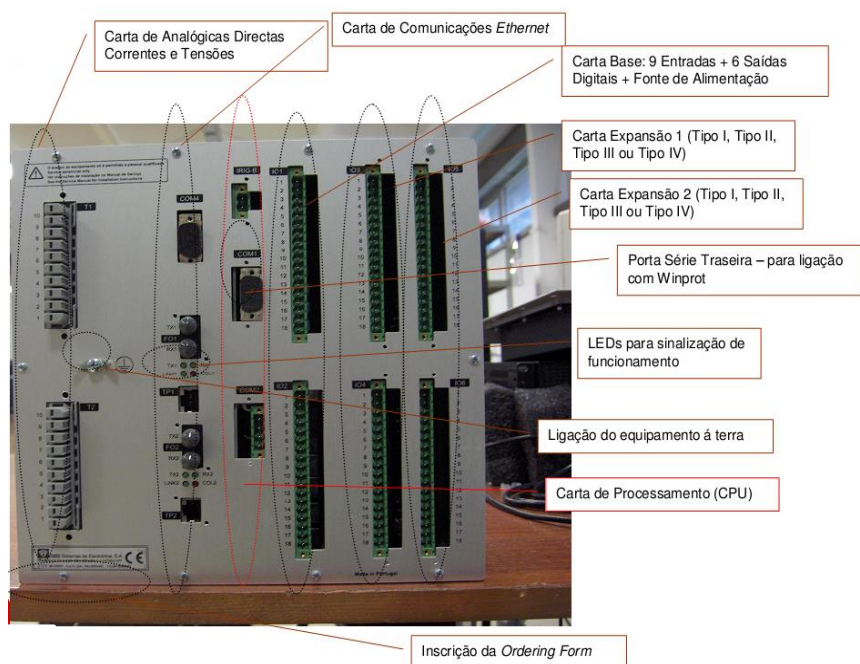



Figura 2.9 - Descrição do painel traseiro [9].

(ii) Unidade Central

A UC está instalada no nível 2 do SPCC, sendo responsável pela comunicação com o CC e com todos os IED's através dos protocolos de comunicação CEI normalizados, podendo ser entendida como um nó na RLC, permitindo a execução das funções de comando e controlo de toda a instalação, no local ou à distância [4]. A UC é também responsável por assegurar o envio de informação, via rede *ethernet*, para o PCL, permitindo desta forma a animação em tempo real dos diversos Quadros Gráficos da IHM disponíveis no PCL, bem como o arquivo no disco do PCL de registos de eventos do SPCC e de Osciloperturbografia, "descarregados" automaticamente dos IED's. A UC deve ser sincronizada através de um protocolo de comunicação ou via GPS, também ele instalado na SE. A UC deve atender a um conjunto de critérios fundamentais, nomeadamente:

- Minimização do tempo de resposta do sistema;
- Maximização da disponibilidade do sistema;
- Facilidade de manutenção do sistema;
- Flexibilidade de exploração e evolução.

Na Figura 2.10 são apresentados, a título de exemplo, duas UC's:

Figura 2.10 - Unidades Centrais da ABB [12].

(iii) Posto de Comando Local

O PCL, também instalado no nível 2 do SPCC, é baseado num PC industrial com as características referidas em [4]. O PCL é responsável pelo arquivo dos registos do Sistema e por todas as funções de visualização e *interface* operacional com o utilizador. A partir deste é possível a parametrização e configuração dos IED's e a análise do registo de eventos. Através do PCL é possível efetuar a supervisão e o comando global da SE, através de um tratamento estruturado da informação, ou seja, podemos considerar o PCL como sendo um sistema 'SCADA' aplicado à SE, o que permite:

- Visualizar os esquemas sinóticos da instalação, incluindo o estado atual de todos os órgãos e restante aparelhagem;
- Visualizar o valor de todas as medidas disponíveis;
- Efetuar comandos sobre todos os órgãos da instalação que o permitam;
- Visualizar, através de um registo cronológico, todas as ocorrências verificadas na instalação;

- Efetuar o tratamento de parâmetros de automatismos, de proteções, de comunicação, e de registo de perturbações;
- Visualizar o estado de autodiagnóstico do SPCC.

Para além destas funções enumeradas anteriormente, o PCL possibilita a simulação de manobras sobre equipamentos da instalação, permitindo assim o ensaio da resposta do sistema sem interferir com o processo. O PCL deve atender a um conjunto de critérios fundamentais, nomeadamente a minimização do tempo de resposta do sistema, a maximização da disponibilidade do sistema, a facilidade de manutenção do sistema e a flexibilidade de exploração e evolução. Na Figura 2.11 é apresentado, a título de exemplo, um PCL.

Figura 2.11 - Posto de Comando Local [10].

2.4 Funções de Proteção [2]

Um Sistema Elétrico de Energia está constantemente sujeito a perturbações, nomeadamente à ocorrência de defeitos, que podem ser entre fases, entre fase e terra, podendo estes possuir ou não resistência de defeito. Em cada painel do edifício de comando são utilizadas funções de proteção específicas, definidas em [11], de acordo com o andar de tensão (AT ou MT) e dos equipamentos a proteger. As funções de proteção visam assegurar a vigilância do funcionamento da rede detetando defeitos e, procurando eliminá-los o mais rapidamente possível, de modo a garantir simultaneamente uma exploração segura com elevada qualidade e continuidade de serviço. Para atingir estes objetivos, as funções de proteção devem reger-se pelos seguintes princípios:

- Sensibilidade suficiente para detetar todo o tipo de defeitos;
- Rapidez de resposta que permita garantir segurança de pessoas e equipamentos;
- Seletividade de atuação minimizando a área afetada;
- Redundância na atuação permitindo colmatar o deficiente funcionamento de qualquer componente do sistema de proteções;
- Coexistência com os restantes funcionalismos do SPCC.

2.5 Funções de Automatismo [2]

As funções de automatismo foram aplicadas aos Sistemas de Energia Elétrica com o objetivo de reduzir os tempos de interrupção de serviço após um incidente na rede e para

realizar funções simples repetitivas que eram realizadas manualmente pelos operadores. As funções atuam, de uma forma distribuída, nas várias unidades de painel. Por princípio, qualquer automatismo pressupõe a capacidade de controlar um processo, tomando decisões segundo uma programação prévia e sem intervenção humana. As funções de automatismo são desencadeadas pelas sinalizações que resultam das funções de proteção. No Anexo A é apresentado um resumo das funções de automatismo e, no Anexo B, são apresentadas as funções de proteção associadas às de automatismo.

Poderão estar ainda associadas a alguns painéis funções de proteção complementares, tais como as apresentadas de seguida, úteis para a obtenção de informações mais detalhadas para uma melhor compreensão dos eventos ocorridos na SE [11]:

- **Registo Cronológico de Acontecimentos**: permite a reconstituição da história das sequências de ocorrências nas SE de distribuição;
- **Osciloperturbografia**: permite registar as formas de onda de todas as grandezas analógicas e as transições de todos os sinais digitais, sempre que uma das condições de arranque seja ativada;
- **Monitorização do disjuntor**: informação da energia cumulativa cortada pelo disjuntor do painel, assim como o número de manobras de abertura e fecho do disjuntor. Estes dados são essenciais para efeitos de manutenção no componente;
- **Localizador de defeitos**: útil na ajuda da identificação do local onde ocorreu o defeito.

2.6 Comentários Finais

A evolução dos Sistemas de Proteção foi um dos principais fatores impulsionadores para a grande mudança de paradigma relativamente aos Sistemas Elétricos de Energia Atuais. A integração das funções de Comando e Controlo às funções de Proteção e a utilização de diferentes funções num único componente deram origem aos IED's que são a base dos SPCC's utilizados nas SE's de hoje, surgindo, deste modo, o conceito dos SAS.

Os SPCC's garantem o bom funcionamento de uma SE permitindo um fornecimento de energia com maior qualidade e continuidade de serviço, e ainda o controlo e monitorização das SE's à distância dispensando assim a presença permanente de pessoal. Deste modo é verificada uma redução de custos de operação e manutenção.

As RLC's tomaram também um papel relevante no bom funcionamento dos SPCC's tornando-se um elemento tão relevante como os IED's. A integração de equipamentos de diferentes fabricantes numa mesma RLC é hoje um tema de muitos estudos e investigações.

O constante crescimento das necessidades energéticas das indústrias e dos consumidores levam a que esta evolução nos Sistemas Elétricos de Energia seja contínua, esperando-se sempre um melhor desempenho dos sistemas e uma maior qualidade de serviço ao mínimo custo possível.

Capítulo 3

Ensaios Atuais e Equipamentos de Teste

Neste capítulo serão descritos os ensaios atualmente realizados pela Operadora da Rede de Distribuição de Energia Elétrica em Portugal, a EDP Distribuição SA. O principal objetivo do capítulo é possibilitar a comparação e identificação das diferenças entre os ensaios de aceitação da Norma CEI 61850 e onde se localizam estes últimos relativamente aos ensaios atuais praticados na EDP Distribuição.

A organização deste capítulo está de acordo com os diferentes tipos de ensaios existentes, com ênfase aos ensaios em fábrica, designados de FAT, do inglês: *Factory Acceptance Tests*, e ensaios de comissionamento, no local da instalação, designados de SAT, do inglês: *Site Acceptance Tests*. Será descriminado, para cada tipo de ensaio, o que deverá ser avaliado em termos de ensaios. São ainda apresentados, neste capítulo, os equipamentos específicos para a realização dos ensaios. É descrito o *software* e *hardware* de cada equipamento de ensaio, bem como as suas principais capacidades em termos de ensaios individuais dos equipamentos do sistema bem como o ensaio de todo o sistema.

3.1 Notas Introdutórias aos Ensaios Atuais

Os diversos tipos de ensaios são efetuados de forma a analisar e avaliar as características e comportamentos de um dado equipamento ou sistema elétrico nas Subestações de Energia Elétrica (SE's), numa determinada situação que pretende simular situações reais. As características e comportamentos dos equipamentos constituintes das SE's, Sistemas de Proteção, Comando e Controlo (SPCC), devem ser confirmados através da realização de ensaios. Os ensaios podem ser realizados em laboratórios acreditados para o efeito (e.g. os laboratórios do KEMA). É da responsabilidade do fabricante a realização dos ensaios necessários à confirmação da conformidade dos equipamentos, segundo o requerido pela Operadora da Rede e por Normas aplicáveis (e.g. CEI 61850). Com os mesmos objetivos são ainda realizados conjuntos de ensaios de comissionamento no local de implementação dos componentes, antes da efetiva entrada em serviço.

De forma a serem verificados e validados os requisitos dos sistemas em termos de requisitos funcionais, impostos pela Operadora da Rede, existe um conjunto de documentação, que deve ser utilizada como guia aos ensaios. Esta documentação está apresentada em [12].

3.2 Tipos de ensaios do Sistema de Proteção Comando e Controlo [4]

Os ensaios aos SPCC's podem ser classificados, de acordo com o número de aplicações, em ensaios Tipo e em ensaios Série ou de Rotina.

3.2.1 Ensaios Tipo

Os ensaios Tipo são realizados a fim de demonstrar características satisfatórias tendo em conta as aplicações previstas. São ensaios que uma vez realizados não precisam de ser repetidos, a não ser que ocorram mudanças nas matérias-primas, na conceção ou no processo de fabrico, que possam alterar as características dos equipamentos constituintes do SPCC. Nos ensaios Tipo, entre outros, são realizados os ensaios a seguir mencionados [4]:

- Ensaio Visual, onde se identificam eventuais defeitos de fabrico, disposição dos equipamentos e verificação das marcações;
- Verificação da indelebilidade da marcação;
- Ensaios Climáticos, nomeadamente Calor Seco, Frio e Calor Húmido;
- Ensaios Mecânicos, nomeadamente Resistência à Vibração (sinusoidal) e ao Choque;
- Verificação dos Graus de Proteção, Código IP e Código IK;
- Ensaios dielétricos, nomeadamente ensaios à onda de choque e à frequência industrial;
- Ensaios de imunidade.

3.2.2 Ensaios Série ou de Rotina

Os ensaios Série ou de Rotina são ensaios previstos para serem efetuados de maneira repetitiva sobre produtos fabricados em série, quer sob a forma de ensaios individuais, quer sob a forma de ensaios por amostra, com vista a verificar que uma dada fabricação satisfaz critérios definidos. Os ensaios Série consideram, entre outros, os seguintes ensaios de funcionamento, descritos em [4]:

- Ensaio funcional ao SPCC, no que respeita à totalidade do *software* instalado;
- Ensaio funcional de todos os periféricos;
- Ensaio funcional do processamento das comunicações;

- Verificação das características estáticas das entradas lógicas, entradas analógicas e saídas lógicas, na Unidade Central (UC) e nos Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED, do inglês: *Intelligent Electronic Device*).

Devem ainda ser efetuados ensaios de comunicação entre a UC e o Centro de Comando e Controlo, de forma a ser verificada a sua compatibilização. Estes ensaios são da responsabilidade do fornecedor do SPCC.

Para a execução dos ensaios referidos deve dispor-se da UC, do Posto de Comando Local (PCL), dos IED’s, da Rede Local de Comunicação (RLC), dos periféricos, e ainda de equipamentos de ensaio automático que possibilitem a realização de todos estes ensaios. A elaboração de um plano estruturado e lógico para a realização dos ensaios é também uma boa ferramenta e uma boa prática a adotar pelas equipas técnicas para tal designadas.

3.3 Grupos de Ensaios do Sistema de Proteção, Comando e Controlo

Para além da classificação referida na secção 3.2, os ensaios aos SPCC’s podem ainda ser divididos em dois grandes grupos, nomeadamente em ensaios FAT e em ensaios SAT. Adicionalmente, existe um outro grupo de ensaios e verificações referentes à Manutenção Periódica, os quais são realizados ao longo da vida útil dos equipamentos para garantir o seu bom e correto funcionamento, através de planos de manutenção bem definidos.

3.3.1 Ensaios em Fábrica (FAT)

Os ensaios FAT são realizados em fábrica, antes da instalação no local de implementação da SE e antes da colocação em serviço, onde são testadas e verificadas as diversas funcionalidades de um SPCC. Os ensaios FAT são realizados a cargo dos fabricantes de equipamentos, a quem foi adjudicado a sua conceção, por exemplo, um fornecedor do SPCC para uma determinada SE, anteriormente à sua instalação no local, realiza nos seus laboratórios um conjunto de testes a todos os equipamentos, de forma a garantir o bom desempenho de todas as funcionalidades requeridas. A realização dos testes deve ser o mais rigorosa possível, a fim de ser assegurado que todo o equipamento vai funcionar corretamente depois de ser instalado na SE de destino e colocado em serviço.

Os ensaios FAT podem ainda ser divididos em dois tipos, nomeadamente em ensaios em que os parâmetros dos SPCC’s são verificados e os ensaios que envolvem a simulação de condições de funcionamento, tais como a diferentes temperaturas, ao choque, a vibrações mecânicas, impulsos elétricos, entre outros, que podem afetar a correta operação dos equipamentos [13]. Em alguns casos, estes dois tipos de ensaios são efetuados em simultâneo.

No caso dos SPCC’s deve ser elaborado um plano de teste referente a cada painel, o qual deve contemplar todas as verificações e ensaios que se considerem necessários e suficientes para a garantia de conformidade dos painéis em função das especificações técnicas e

requisitos funcionais e operacionais específicos da entidade requerente. Deve considerar-se as seguintes verificações:

1. Inspeção visual, sendo esta inspeção realizada em 2 fases. A primeira deve ser feita antes da eletrificação dos sistemas até às réguas de interface de cada um, de forma a validar a ausência de ligações de um dos lados da mesma; A segunda deve ser realizada após a conclusão da eletrificação do armário. Deve contemplar também a verificação de conformidade do armário com o esquema mecânico do mesmo;
2. Ensaios de rigidez e compatibilidade eletromagnética;
3. Verificação de ausência de mistura de polaridades;
4. Ensaios de eletrificação (estes ensaios devem garantir a conformidade positiva, por exemplo, verificação da presença da respetiva polaridade em todos os pontos de ligação em que devem estar, e, ao mesmo tempo, da verificação da ausência de polaridade nos pontos onde não deve estar presente para uma determinada ação, seja esta por fecho de um contacto ou proveniente do exterior do armário). Estas verificações são, por definição, combinações lineares de conjuntos de pontos de ligação, pelo que deve ser considerada uma sistematização de forma a reduzir-se o número de repetições de condições de ensaio;
5. Verificação da conformidade da cor dos condutores;
6. Verificação de entradas e saídas dos equipamentos;
7. Ensaios dos circuitos de corrente alternada por continuidade e injeção de grandezas diretas, inversas e homopolares;
8. Ensaios funcionais de cada um dos sistemas, os quais incluem todas as funções de proteção, controlo e monitorização;
9. Ensaios de funcionalidade global do painel;
10. Ensaios de geração de sinalizações e alarmes;
11. Identificação dos equipamentos de proteção (nº série, firmware), cabos de comunicação, fibras óticas, bornes, condutores, relés auxiliares e fichas de corrente e tensão;
12. Identificação dos meios de ensaio e datas de próxima calibração;
13. O protocolo deve ser suportado em papel para formalização e assinaturas, sendo que o relatório resultante daquele deve contemplar um registo eletrónico de todos os ensaios, em particular, os que resultem dos ensaios funcionais através de equipamentos próprios de ensaio, como a mala de ensaios da OMICRON. Este relatório deve ter um conjunto de observações que demonstrem que ensaios e verificações não foram possíveis testar ou confirmar, e, na ausência destes, uma declaração em que o painel se encontra testado e está em conformidade com o projeto executivo e de acordo com as especificações técnicas e aplicações para o qual foi construído;

14. Todos os armários de cada painel devem ter um Certificado de Conformidade que ateste os ensaios FAT com indicação de ressalvas e pendentes, nº de série, tipo, modelo, firmware e versão do *software* dos equipamentos constituintes.

Após a conclusão dos ensaios FAT de todos os painéis, os mesmos devem ser ligados em rede de fibra ótica e proceder-se aos ensaios seguintes, mediante o protocolo adotado pelo fabricante e a merecer aprovação da entidade requerente, como a Operadora da Rede:

- Acesso às proteções e simulação de acesso remoto;
- Registo, armazenamento e acesso ao sistema de Osciloperturbografia e localização de defeitos;
- Sistemas de Proteção (proteção de barramento e falha de disjuntor);
- Sinalizações para o Registador Cronológico de Acontecimentos;
- Alarmes.

3.3.2 Ensaios no Local da Instalação (SAT)

Os ensaios SAT apresentam a grande diferença em relação aos ensaios anteriores por serem realizados no local de instalação do SPCC, ou seja na SE na qual irão funcionar. Os ensaios SAT desenvolvem-se essencialmente em três fases:

- a primeira, dita de comissionamento, contempla todos os ensaios, constantes em protocolo próprio, sendo desenvolvidos exclusivamente pelo fabricante;
- a segunda, de SAT propriamente dita, é realizada, pelo fabricante em presença da entidade requerente, após a declaração pelo fabricante de que o painel se encontra em condições técnicas de colocação em serviço (estes ensaios são facultativos caso a entidade requerente assim o entenda, tendo a duração normal de 2 dias, caso não sejam detetadas não conformidades relevantes);
- a terceira corresponde à colocação em serviço do painel, a qual deverá ter um protocolo específico de acordo com a entidade requerente.

Deverá ser elaborado um plano de teste, para cada painel, pelo fabricante, devendo este contemplar todas as verificações e ensaios que se considerem necessários e suficientes para a garantia de conformidade dos painéis em função das especificações técnicas e requisitos funcionais e operacionais específicos da entidade requerente. O plano de teste deve ter duas partes distintas, sendo a primeira respeitante aos ensaios de comissionamento e a segunda deve contemplar um guia de teste desenvolvido para cumprimento das normas específicas da entidade requerente. Antes de serem realizados os ensaios de comissionamento propriamente ditos, são feitas algumas verificações, os chamados testes de pré-comissionamento, em que as principais tarefas a realizar podem resumir-se em [13]:

- Análise dos esquemas de ligação para confirmar a polaridade das ligações;
- Inspeção física geral do equipamento, nomeadamente das ligações destes aos painéis;
- Medição da resistência de isolamento nos equipamentos de proteção;
- Inspeção e ensaios aos relés;
- Ensaios aos transformadores de medida de tensão (TT) e de corrente (TC);
- Verificar o funcionamento da proteção de disparo e dos circuitos de alarme.

Estas verificações devem ser cuidadosamente programadas para que sejam efetuadas numa ordem lógica e eficiente, a fim de que nenhum equipamento seja perturbado ou perturbador durante os testes subsequentes. Deve portanto ser elaborada uma lista de ensaios a serem realizados, dispostos segundo uma ordem cronológica, juntamente com todas as precauções que devem ser tomadas em consideração.

(i) Ensaios de Comissionamento

Os ensaios de comissionamento contemplam injeção primária de correntes e tensões, devendo estes ser realizados em duas fases:

- a primeira, para verificação de continuidade dos circuitos, relação de transformação e desfasamentos, através de valores primários relativamente baixos, da ordem da dezenas de Ampére;
- a segunda, para verificação da robustez dos circuitos, deteção de maus apertos, rigidez dielétrica, através de injeção de valores elevados, quer de corrente (centenas de Ampere), quer de tensão (milhares de Volt), conforme as Condições Técnicas Especiais, utilizando equipamentos de ensaio específicos, como por exemplo a mala de ensaios OMICRON. Estes ensaios contemplam verificações em todos os pontos de ligação desde a caixa de reagrupamento dos TC e TT até aos bornes das proteções. Os testes com injeção de valores elevados de corrente e tensão devem ser realizados com os circuitos inteiros e confirmados pela leitura dos valores nas proteções.

O plano de teste deve contemplar os esquemas de montagem dos ensaios. Além do referido, o comissionamento deve ainda contemplar:

- Inspeção visual;
- Identificação do painel e local de instalação;
- Verificação da existência do esquema do painel atualizado dentro do armário em local próprio e de certificado de conformidade dos ensaios FAT;
- Verificação das informações provenientes da aparelhagem de AT e MT, em caso de SE's AT/MT;
- Verificação das polaridades, informações e sinalizações via condutores metálicos entre o armário e os demais armários da instalação àquele ligado;

- Ensaios funcionais com a instalação através da operação efetiva dos equipamentos e sistemas conexos ao painel em causa (seccionadores, disjuntores, sistema de comando e controlo, teleproteções, armários de corrente contínua, Rede de Fibra Ótica, tensão de sincronismo, disparo do disjuntor dos circuitos de tensão alternada, entre outros);
- Disparos, religação, discordância de pólos, supervisão dos circuitos de disparo (estes ensaios devem ser feitos com os equipamentos reais, verificando a correspondência de fases, sincronização e tempos mortos de religação para ajuste da discordância de pólos, simulação de ações de manutenção ao disjuntor para verificação de presença de alarmes do disjuntor e efetivação ou não de disparos e religação);
- Permissão ao fecho, bloqueios, entre outros;
- Ativação/desativação de Regime Especial de Exploração (A e B) e Religação com ensaios funcionais para verificação dos efeitos destas funcionalidades;
- Alarmes;
- Sincronização de sequência de eventos;
- Verificação da conformidade das regulações em função do estudo de coordenação elaborado pela entidade exploradora;
- Ensaios de corrente alternada.

(ii) Ensaios SAT

Após conclusão dos ensaios de comissionamento, a entidade requerente dos equipamentos poderá, se assim o entender, solicitar a execução de ensaios de aceitação, os ensaios SAT. Normalmente, estes ensaios são dispensados quando o fornecedor tem já uma experiência positiva com ensaios em instalações do mesmo tipo, e, dependendo dos resultados dos primeiros SAT, por painel tipo, poderá a entidade requerente dispensar a sua presença, sendo que, painel a painel, a entidade exploradora indicará se o mesmo será alvo ou não dos ensaios de aceitação.

(iii) Ensaios de Colocação em Serviço

Os testes da terceira fase, da colocação em serviço, deverá ter, tal como descrito em documento específico elaborado pela entidade exploradora, duas partes. A primeira contempla as verificações e ações antes da efetiva colocação em tensão do painel, e a segunda contempla as verificações e ações a tomar após a colocação em carga do painel. A fase de verificação e ações a tomar após a colocação em carga do painel, tal como enunciado no Caderno de Encargos, poderá não ocorrer no mesmo dia em que o painel é colocado em tensão, ou, para os efeitos aqui requeridos, não ter fluxo de energia suficiente. Deste modo, durante um ano, após a colocação em tensão, o fabricante compromete-se a deslocar-se à instalação, com aviso prévio da Operadora da Rede, para as verificações finais com fluxo de energia mensurável. Salienta-se que o relatório resultante destes ensaios é de extrema

importância, e o mesmo deverá ser entregue imediatamente após a sua conclusão, nos moldes e termos a acordar.

À semelhança dos ensaios FAT, o relatório global dos SAT (comissionamento e procedimentos de entrada em serviço) deve ser objeto da mesma abordagem do ponto de vista técnico e formal, com a respetiva declaração de conformidade. Assim, todos os armários de painéis devem ter um Certificado de Conformidade que ateste os ensaios SAT com indicação de ressalvas e pendentes, números de série, tipo, modelo, *firmware* e versão do *software* dos equipamentos constituintes. Dependendo dos sistemas a instalar e versões de *software* para acesso remoto, poderá ser necessário a presença de um técnico especializado do fabricante, nas instalações do Centro de Comando e Controlo, para implementação das bases de dados e configuração dos postos remotos de manutenção para se testar o acesso remoto via redes telefónica e *ethernet*.

3.3.3 Manutenção Periódica

A manutenção periódica é um requisito comum para qualquer equipamento ou sistema, sendo ainda mais nos SPCC's de uma SE pelo facto de estes serem constituídos por equipamentos que durante longos períodos de tempo se encontram inativos, devendo no entanto estar sempre aptos a funcionar corretamente, como e quando necessário. Isto conduz-nos a uma das mais difíceis características dos SPCC's, o qual devem possuir sensibilidade adequada para que não atuem em caso de defeitos externos e que atuem satisfatoriamente, e em tempos adequados, aquando de um defeito a si ligado, à sua área de proteção, por exemplo. Este é o principal motivo pelo qual se deve manter presente a necessidade de manutenção periódica.

A manutenção periódica é efetuada de forma planeada, sendo realizados ensaios específicos e bem definidos, levando por isso à necessidade da elaboração de um programa de manutenção, onde a sua frequência vai essencialmente depender do histórico de cada equipamento, nomeadamente de possíveis falhas que ocorram periodicamente em equipamentos semelhantes, podendo o tempo entre manutenção variar de equipamento para equipamento. Contudo, testes em número elevado ao mesmo equipamento devem ser evitados, de forma a não provocar avarias nos equipamentos, podendo colocar em risco a qualidade e continuidade de serviço prestado. As classes de equipamentos que devem ser incluídos na manutenção são [13]:

- Relés de proteção e de controlo auxiliares;
- Sistemas de alarme;
- Dispositivos de controlo adicionais (botões, chave, bloqueios);
- Sistemas de gravação de eventos, como defeitos.

Apesar da necessidade imperiosa da existência do referido modelo de manutenção periódica deve ter-se em conta, nomeadamente para estas entidades de exploração de redes elétricas, que a qualidade e continuidade de serviço não devem de modo algum ser prejudicadas por estas atividades, erguendo-se deste modo a justificação para a elaboração dos planos de manutenção cuidados e rigorosos por entidades competentes. Uma boa prática é a realização das ações de manutenção dos SPCC's aquando da manutenção do equipamento principal, quando este se encontra fora de serviço, como por exemplo na manutenção de um transformador de potência da SE. A elaboração do plano de manutenção e a sua correta aplicação permite:

- Aumentar a fiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos, o que reduz os custos associados às avarias;
- Aumentar o período de vida útil dos equipamentos;
- Aumentar a segurança dos operadores dos equipamentos;
- Facilitar a gestão de *stocks*;
- Minimizar a indisponibilidade dos sistemas em que os equipamentos sujeitos a manutenção estão integrados;
- Prever os custos da manutenção;
- Reduzir e regularizar a carga de trabalho.

Além da manutenção periódica existem outros tipos, como a manutenção corretiva, em que os trabalhos não são programados, requerendo intervenção imediata. A manutenção corretiva destina-se a reparar avarias aquando da sua ocorrência, sem que surja um aviso prévio, não havendo oportunidade de intervir antecipadamente e evitar a avaria. O planeamento da manutenção corretiva consiste na gestão de componentes ou equipamentos de substituição, no sentido de colmatar as avarias, implicando elevados custos com equipamentos de reserva, de trabalhos extra e de elevados tempos de interrupção.

3.4 Ensaios atuais na Operadora da Rede de Distribuição de Energia Elétrica

Atualmente a Operadora da Rede de Distribuição de Energia Elétrica portuguesa, especialmente no que respeita às SE's, elaborou um conjunto de documentos que visam a uniformização das características e ensaios aplicáveis aos SPCC's. Um conjunto desses documentos, disponível em [14], tem por finalidade estabelecer os procedimentos de ensaios necessários à verificação do correto funcionamento dos SPCC's de uma SE AT/MT Tipo aquando da sua entrada em serviço, estando portanto inseridos nos ensaios SAT mencionados, nomeadamente no que se refere a:

- Modos de funcionamento e encravamento;
- Proteções e Automatismos;
- Gestão da informação;
- Interface Humano-Máquina (IHM).

Existe ainda um documento que se destina a estabelecer as características e ensaios aplicáveis exclusivamente aos SPCC's instalados em SE's, [4], onde se referem os requisitos dos equipamentos que constituem estes sistemas impostos por normas especificas. Este documento refere:

- Condições gerais de funcionamento, como condições ambientais, climáticas, mecânicas, de compatibilidade eletromagnética e condições de alimentação;
- Características de conceção e construção, constituição e características dimensionais;
- Marcações e embalagens;
- Ensaio, onde se especifica a caracterização do equipamento para a realização dos ensaios dielétricos e de imunidade, especificações para execução de ensaios, ensaios Tipo e ensaios Série.

Existe ainda documentação referente a ensaios de funcionamento e verificações gerais realizados pela Operadora da Rede com o intuito de verificar o correto funcionamento da SE em geral, [12], onde são realizadas:

- Verificações Gerais, nomeadamente no que se refere a Condições de segurança, Condições de instalação, Montagem da aparelhagem, Montagem dos circuitos de potência AT e MT e Circuitos de terra;
- Ensaios e verificações finais de aparelhagem AT e MT, em particular aos Disjuntores AT e MT, Seccionadores AT e Transformadores de Potência AT/MT;
- Ensaios de funcionamento, nomeadamente ensaios mecânicos e elétricos;
- Verificação do equipamento de segurança e apoio.

Os documentos normativos editados pela Operadora da Rede especificam ainda que as características dos equipamentos/unidades constituintes dos SPCC's devem ser confirmadas através da realização de ensaios, a efetuar em laboratórios acreditados para o efeito, sendo da responsabilidade do fabricante a sua realização mediante a presença de um responsável pertencente à entidade requerente. A evolução dos SPCC's, nomeadamente no que se refere à implementação de novos equipamentos e novas arquiteturas segundo a Norma CEI 61850 em estudo, leva à necessidade, por parte das operadoras da rede, da verificação e confirmação das novas funcionalidades e características, sendo para tal necessário o desenvolvimento de um novo modelo de ensaios.

3.5 Testes aos Relés de Proteção

Com a evolução dos equipamentos e principalmente dos relés, que passaram dos eletromecânicos para os digitais, as proteções funcionam com maior eficiência e fiabilidade. Os tempos de atuação dos relés ficaram menores, principalmente os tempos de abertura e fecho dos disjuntores, proporcionando melhores condições de serviço, garantindo elevada qualidade e continuidade de serviço elétrico. Deste modo os testes efetuados aos relés de proteção são determinantes para assegurar o seu correto funcionamento quando forem chamados a atuar. Para tal, existem dois tipos distintos de simuladores para que se possam realizar os ensaios, sendo designados por:

- Simuladores em Circuito Aberto, do inglês: *Open Loop Simulator*;
- Simuladores em Circuito Fechado, do inglês: *Closed Loop Simulator*.

Os simuladores têm o objetivo comum de realizar a verificação do correto funcionamento dos SPCC's de uma instalação, nomeadamente no que se refere a:

- Modos de funcionamento e encravamento;
- Proteções e Automatismos;
- Gestão da Informação;
- Interface Humano-Máquina.

3.5.1 '*Open Loop Simulator*'

O simulador em circuito aberto, também conhecido como '*Playback Digital Simulator*', recorre a um conjunto de *hardware* e *software* específico do fabricante OMICRON *Eletronics*® para proceder aos ensaios funcionais dos relés de proteção [7]. O equipamento de teste OMICRON permite que sejam observados e estudados os comportamentos de determinado relé sob determinadas condições, garantindo o correto ajuste dos parâmetros dos relés.

O princípio de funcionamento do ensaio em circuito aberto parte do envio da informação relativa às definições do relé em teste e do sinal de corrente de defeito simulado através de *software* para a mala de ensaios OMICRON (secção 3.6.1). Posteriormente é transmitido um sinal real, idêntico ao da corrente de defeito simulada, ao relé de proteção o qual irá reagir e transmitir essa reação à mala de ensaios a qual comunica com o *software*, podendo esta informação ser analisada e avaliado o comportamento do relé de proteção em teste [7]. A Figura 3.1 identifica de forma esquemática o princípio de funcionamento descrito para os ensaios em '*Open Loop Simulator*', simulação em circuito aberto.

Os testes funcionais ao equipamento de proteção baseiam-se em simular situações de defeito e verificar se o equipamento atua nesta situação, conforme a sua especificação e segundo as suas parametrizações. A realização dos testes em circuito aberto garante o correto funcionamento do sistema de proteção aquando da sua operação no sistema elétrico.

No entanto o tempo consumido decorrente da execução destes testes é bastante elevado devido ao exaustivo processo de análise aos diversos equipamentos e de todas as funções de proteção, automatismos e telecomunicações a testar, sendo os resultados posteriormente guardados e acedidos quando necessário, não havendo assim uma visualização constante e em tempo real da rede simulada e do equipamento de proteção em teste.

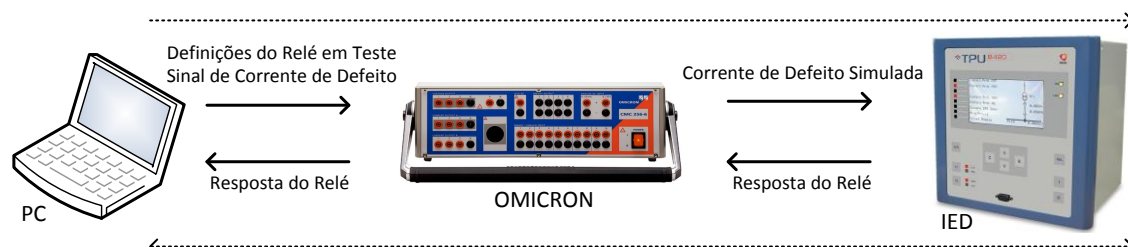



Figura 3.1 – Princípio de funcionamento do ensaio em '*Open Loop Simulator*' [7].

3.5.2 '*Closed Loop Simulator*'

A simulação em circuito fechado pretende de certo modo colmatar as limitações da utilização da simulação em circuito aberto, permitindo simular a rede elétrica e o sistema de proteção num ambiente controlado e em tempo real capaz de reduzir significativamente o tempo de testes efetuados aos SPCC's, analisando estes como um todo e não individualmente, sendo portanto um dos meios mais completos para testes aos dispositivos físicos [7]. Para a simulação em circuito fechado o equipamento a utilizar deve ser um simulador em tempo real, como o RTDS – '*Real Time Digital Simulator*' [15], o qual vem sendo exponencialmente utilizado pelas empresas do setor energético a nível mundial. A grande vantagem desta ferramenta de simulação é a capacidade de recolha e análise da resposta do equipamento de proteção em teste, afetando esta diretamente a simulação realizada, como por exemplo ordem de corte, por parte do relé, aos disjuntores da SE, obtendo-se uma simulação em tempo real, assemelhando-se assim ao desempenho real do dispositivo em teste.

O princípio de funcionamento do ensaio em circuito fechado passa em primeiro lugar pela simulação das tensões nos barramentos e as correntes nas linhas pelo equipamento RTDS, as quais são enviadas ao amplificador de sinais, onde são elevados os sinais de corrente e tensão aos valores operacionais requeridos pelo relé de proteção. De seguida, o relé de proteção comporta-se como se estivesse a operar num Sistema Elétrico de Energia Real, enviando a sua resposta para o RTDS. Este processo repete-se várias vezes e reage consoante a informação dada pelo relé [15]. A Figura 3.2 identifica de forma esquemática o princípio de funcionamento descrito para os ensaios em '*Closed Loop Simulator*', simulação em circuito fechado.

Em suma, a grande diferença para os ensaios em circuito aberto é a capacidade de *feedback* dos equipamentos em teste, influenciando diretamente a simulação, sendo o único meio capaz de testar e visualizar a interação de vários relés de proteção, como no caso da proteção de um circuito com linha dupla o qual envolve a interação entre quatro relés.

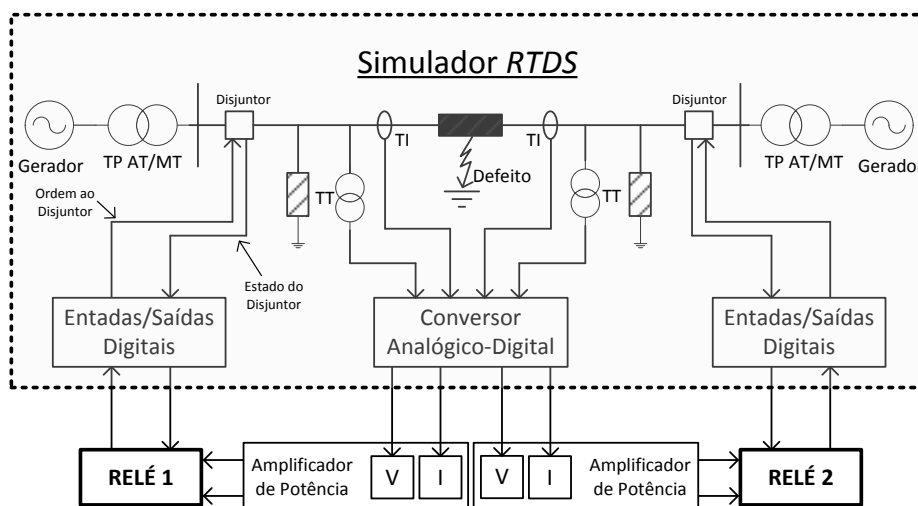



Figura 3.2 – Princípio de funcionamento do ensaio '*Closed Loop Simulator*' [15].

3.6 Equipamentos de Ensaio

Seguindo os equipamentos identificados nos modelos de simulação para a realização de ensaios pretende-se nos pontos seguintes fazer uma descrição mais detalhada das malas de ensaio, de forma a tomar um primeiro contacto com tais equipamentos e as suas capacidades. Salientar que a entidade exploradora dos SPCC's das SE's de Distribuição Portuguesas é detentora de várias malas de ensaios OMICRON, sendo a FEUP a única entidade detentora de um simulador RTDS em Portugal [15].

3.6.1 OMICRON

A OMICRON *electronics*® é uma companhia internacional que provê soluções para ensaios primários e secundários, sendo líder mundial deste nicho de mercado, com vendas em países de todo mundo, onde tem em alguns deles representantes do produto. Os típicos clientes desta gama de produtos são essencialmente engenheiros e técnicos que trabalham principalmente em comissionamentos, ensaios de manutenção e ensaios de campo, em empresas de energia elétrica e indústria [16]. O equipamento OMICRON é responsável pela injeção de correntes e tensões sinusoidais, ajustáveis em amplitude, fase e frequência, que se injetam conforme o esquema de funcionamento da rede, a jusante dos bornes seccionáveis que compõem o circuito de medidas analógicas do respetivo painel. As correntes e tensões pretendem simular os vários defeitos da rede que originam a atuação das funções de proteção, sendo controladas por PC [1]. Além da injeção dos sinais analógicos, a mala de ensaios possui um módulo de entradas e outro de saídas binárias através dos quais é feita a aquisição e envio de sinalizações e comandos entre os IED's e os restantes equipamentos pertencentes ao SPCC da SE. O equipamento OMICRON possui ainda um conjunto de canais independentes com sinais de baixo nível disponíveis na parte posterior da mala de teste, que podem ser usados para controlar amplificadores externos para aplicações que necessitem de mais canais ou maiores correntes, tensões ou potencial.

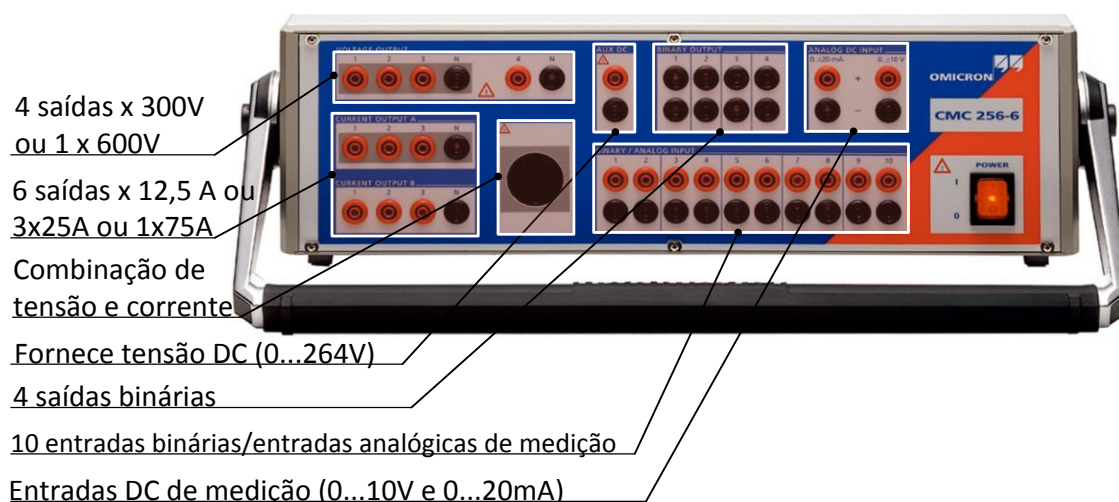



Figura 3.3 – Descrição do painel frontal da mala de ensaios OMICRON CMC 256-6 [17].

Na Figura 3.3 está legendada a parte frontal da mala de ensaios OMICRON CMC 256-6, como exemplo, visto que existem no mercado várias referências do produto, as quais apresentam diferentes disposições das interfaces, com mais ou menos funcionalidades.

Nos pontos que a seguir se apresentam são identificados de forma mais detalhada alguns dos módulos mais utilizados nos ensaios, disponíveis em [17].

(i) Saídas de Tensão

Existem dois módulos de saídas analógicas de tensões. O primeiro permite a injeção de três fases mais neutro e é utilizado quando se pretende simular a tensão em cada uma das fases. O segundo módulo permite simular a tensão homopolar do desequilíbrio de tensões, através da sua saída de tensão com respetivo neutro.

(ii) Saídas de Corrente

Existem também dois módulos de saídas analógicas de corrente, ambos com disponibilização de três fases por módulo. O primeiro será utilizado para simular as correntes das três fases do barramento. O segundo será utilização para simulação de correntes no toro. Existe a possibilidade de combinar várias saídas, permitindo por exemplo, combinar cada uma das correntes de fase do módulo superior com cada uma das correntes de fase do módulo inferior, ficando assim com a possibilidade de 3 saídas em correntes de 25 A cada.

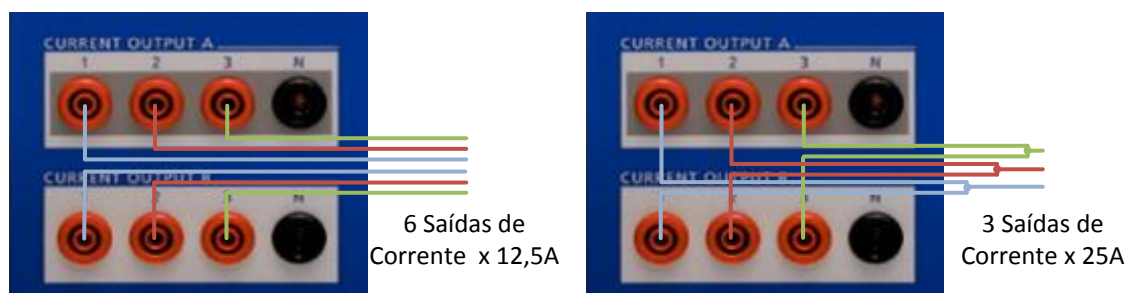



Figura 3.4 – Exemplo de combinação das saídas de corrente [17].

(iii) Entradas Binárias

Está ainda disponível um módulo com um conjunto de dez entradas binárias que podem ser configuradas individualmente, específicas para cada painel, por *software* conforme as necessidades do sistema. A configuração das entradas binárias pode ser efetuada através do módulo de configuração de *hardware* e permite especificar o tipo de contacto a utilizar, se simples ou polarizado. O módulo de entradas binárias é que vai permitir a aquisição de sinais do sistema, sinais estes que são submetidos a critérios de validação por parte do *software* que transmite ao operador a operacionalidade do sistema em teste.

Figura 3.5 – Configuração das entradas binárias [17].

(iv) Porta paralela para conexão

A mala de ensaios possui uma porta paralela de impressora que permite a sua conexão com o computador, permitindo uma significativa taxa de transferência. Alguns dos modelos da mala de ensaios OMICRON possuem ainda uma porta *ethernet* que permite uma transferência mais rápida e eficaz. Quando o programa é iniciado realiza automaticamente uma busca pela interface no computador.

Figura 3.6 – Porta paralela [17].

(v) *Software* OMICRON - *Test Universe* [18]

Para se poder operar com a mala de teste são necessários alguns equipamentos para o seu bom funcionamento com outros dispositivos, nomeadamente o cabo de alimentação, o cabo de conexão mala<->computador, cabo de conexão mala<->equipamento de teste e ainda um computador com *software* de teste instalado e uma porta paralela ou *ethernet*, a qual permite conectar a mala ao computador. O *software* de utilização deste produto é designado de '*Test Universe*', desenvolvido pela OMICRON, o qual possibilita a interface entre o operador e a mala de ensaios. É através deste *software* que se parametrizam as configurações de *hardware* e a partir dos quais se desenvolve a criação do modelo de ensaio necessário.

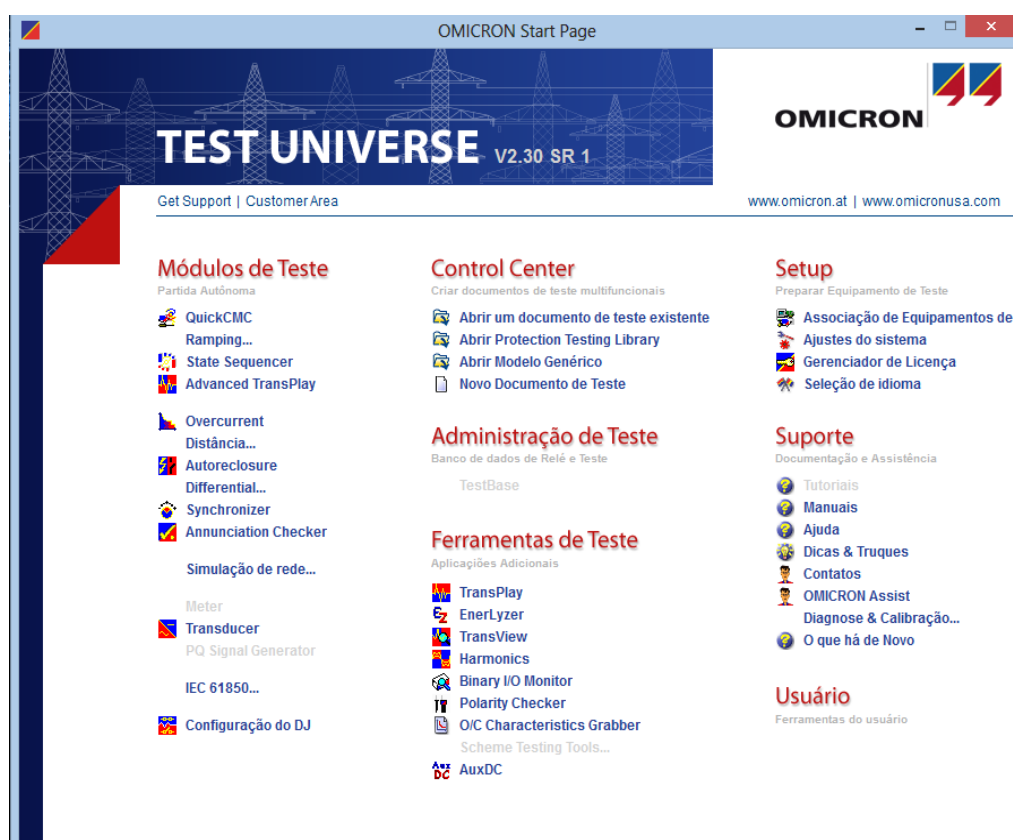



Figura 3.7 - Interface principal do *software Test Universe*, da OMICRON [18].

O *software* é constituído por um conjunto de módulos de teste, como é visível na Figura 3.7, orientados às função que se pretendem ensaiar, tal como funções de proteção, automatismo ou telecomunicações, sendo que estas podem ser alvo de uma escolha personalizada tendo em conta as necessidades do cliente. Alguns destes módulos são descritos com algum pormenor nos pontos que se seguem, no entanto, em [18] está disponível de forma completa toda a informação acerca do *software*.

1. QuickCMC

O módulo de ensaio *QuickCMC*, mostrado na Figura 3.8, é o mais simples, rápido e intuitivo. Atendendo à sua flexibilidade, permite executar vários tipos de ensaios, desde

especificações de tempos de atuação, funções de rampa e injeções de correntes e tensões com as variáveis passo a passo. Mas como todo este ensaio é manual e atendendo às suas limitações de configuração, este teste terá que ser sistematicamente adaptado a cada função a ensaiar. Este é o teste utilizado até ao momento no ensaio de SE's AT/MT da Operadora da Rede Nacional de Distribuição, como por exemplo na execução de testes às funções de sobreintensidade, instantâneo ou temporizado, do relé de proteção.

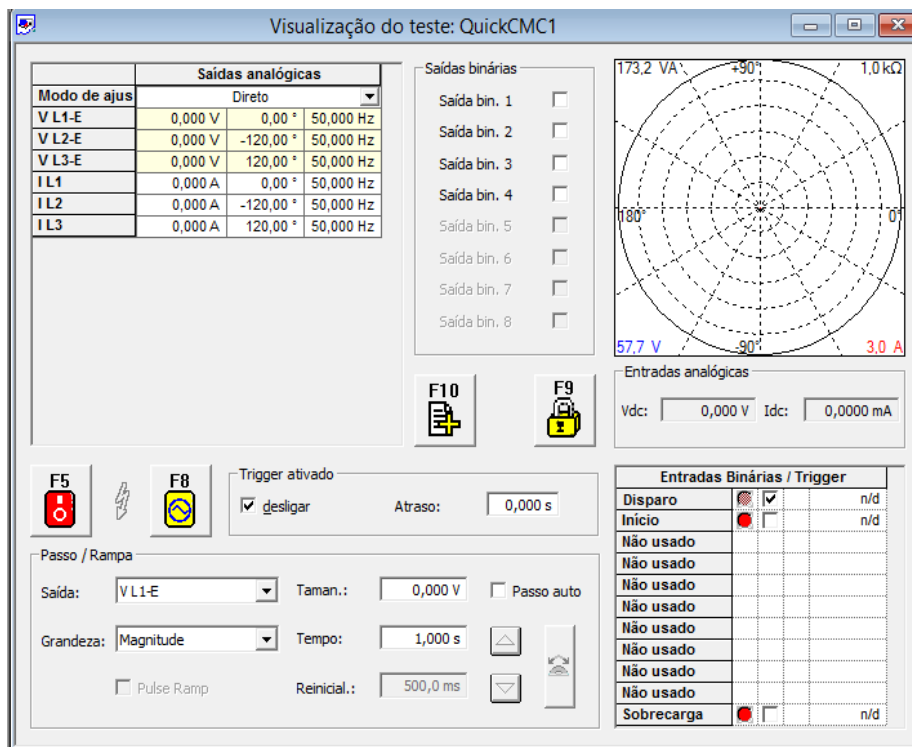



Figura 3.8 - Ambiente gráfico do módulo *QuickCMC* [18].

2. *State Sequencer*

É um módulo de teste bastante flexível para a determinação de tempos de operação e sequências lógicas de temporizações. Permite uma boa adaptação às especificidades que o comissionamento ao SPCC requer, possibilitando a verificação da correta atuação dos relés da instalação, dependendo das parametrizações dos mesmos. É possível que seja construído e simulado qualquer tipo de defeito e perturbação e testar o relé sob essas condições. O módulo caracteriza-se pela correlação entre vários estados podendo dar origem a uma sequência de testes. A parametrização de cada estado pode ser ajustada de uma forma independente em termos de amplitude, fase ou frequência. O módulo dispõe ainda de um conjunto de diagramas vetoriais e oscilografia que auxilia uma análise detalhada do ensaio.

3. *Ramping*

O módulo de teste *Ramping* permite que sejam executados os mesmos ensaios que os executados na ferramenta *QuickCMC*, com a diferença, e mais-valia, de que podem ser definidas e geradas rampas de amplitude, fase ou frequência para as saídas de corrente e

tensão. Atendendo aos valores de atuação definidos pelos *settings* da proteção, definem-se os valores inicial e final para a rampa, considerando o tempo de permanência da variável por cada passo incrementado. Este aspeto é de extrema importância na medida em que, caso o tempo de atuação da função seja inferior ao tempo de permanência de um determinado estado da rampa, o valor obtido para avaliação não será o pretendido. É uma funcionalidade adequada para a verificação de zonas de operação e desoperação das funções. O módulo permite ainda, por exemplo, que duas rampas com variáveis diferentes sejam executadas simultaneamente, de forma sincronizada, assim como a execução de uma sequência de até cinco segmentos consecutivos de rampa.

4. Overcurrent

O módulo de teste *Overcurrent* disponibiliza a curva característica de atuação da função de proteção em função do tempo de disparo, parametrizado para defeitos fase-fase, fase-terra, sequência zero e sequência negativa. É disponibilizado o disparo em vários pontos do diagrama de atuação e o tempo de disparo destes é avaliado conforme a tolerância pré definida para a função que está a ser testada, sendo os dados agregados numa tabela de pontos de teste. O módulo de ensaio *Overcurrent* foi utilizado na definição da característica de atuação para os defeitos de Máximo Intensidade de Fase, Homopolar e Homopolar Direcional nos painéis com estas funções ativas.

5. Outros módulos de teste

Na Tabela 3.1 são enumerados outros módulos do *software Test Universe*, com uma pequena descrição, sendo que os mais utilizados são os identificados nos pontos anteriores.

Tabela 3.1 – Lista de vários módulos existentes no *software Test Universe* [18].

Software/Módulo	Descrição
TransPlay	Permite o carregamento e reprodução de arquivos transitórios contendo formas de onda analógicas transitórias de tensão e corrente.
Harmonics	Geração de sinais de corrente e tensão fundamental com sobreposição de harmónicos.
Binary I/O Minitor	Mostra o *status* de todas entradas e saídas binárias da mala de ensaios para o ajuste do teste.
CB Simulation	Simula os contactos auxiliares do disjuntor durante o teste.
Polarity Checker	Verificação da correta fiação.
AuxDC	Ajuste da fonte DC auxiliar da mala de ensaio.
Pulse Ramping	Determina magnitude, fase e frequência por definição de pulsos de rampas.
Overcurrent Char Grabber	Extrai a característica de sobrecorrente tempo-inverso do manual.

Distance	Definir e executar testes de relés de distância pela avaliação dos elementos de impedância usando as definições de disparo simples no plano Z com visualização gráfica da característica.
Differential	Teste monofásico da característica de operação e bloqueio de *inrush* de relés diferenciais de transformadores, linhas, geradores e barras.
Autoreclosure	Teste da função de religamento automático em relés de proteção.
Advanced Distance	Avaliação da impedância usando o modo de teste automático.
VI Starting	Teste da função de arranque com tensão dependente de sobrecorrente de relés de distância.
Advanced Differential	Teste trifásico de relés diferenciais.
Annunciation Checker	Verificação da correta fiação de dispositivos de proteção.
Synchronizer	Teste automático de dispositivos de sincronização e relés de sincronismo, simulando dois sistemas a serem sincronizados.
Transient Ground Fault	Simulação de defeitos à terra transitórios e em regime permanente em redes compensadas ou isoladas.
Advanced TransPlay	Reprodução e processamento de arquivos *COMTRADE*, *PL4*, ou *CSV*.
Meter	Teste de medidores de energia simples e multifuncionais.
Transducer	Teste manual ou automático de todos tipos de transdutores de medida
Control Center	Ferramenta de automação que permite que todas as funções do equipamento sob teste sejam testadas através de um plano de teste.
***Software* adicional**	
NetSim	Simulador de rede para testes em relés sob condições reais.
EnerLyzer	Cada entrada binária pode ser reconfigurada para ser usada como entrada de medidas analógicas.
TransView	Visualização e análise de sinais analógicos e binários, ou transitórios na rede, que foram gravados com gravadores de transitórios.
PQ Signal Generator	Simulação de uma fonte de sinal que gera todos os tipos de fenômenos de qualidade de energia.

Estas particularidades permitem justificar de forma clara a utilização específica de cada um dos módulos de teste do *software* na elaboração do modelo de ensaios capaz de certificar e validar o funcionamento do SPCC das SE's da Rede Nacional de Distribuição.

No ponto 5.8 são apresentados os módulos dedicados aos ensaios e verificações segundo a Norma CEI 61850 para as redes de comunicação locais de uma SE.

3.6.2 RTDS – *Real Time Digital Simulator* [15]

Os primeiros passos dados no desenvolvimento do RTDS deram-se por volta de 1980 a cabo de pesquisas realizadas no Centro de Investigação Manitoba HVDC. Nesta altura verificava-se também a introdução dos relés de proteção com tecnologia digital nas SE's o que tornava o simulador RTDS numa tecnologia válida e muito promissora. Depois de uma década de desenvolvimentos a nível de *software* e *hardware* foi lançado em 1993 o primeiro simulador digital em tempo real, sendo a sua fabricação, comercialização e suporte exclusiva da empresa RTDS *Technologies Inc.* [15]. Até aos dias de hoje o RTDS tem vindo a ser alvo de contínuo aperfeiçoamento e é cada vez mais utilizado por todo o mundo, nomeadamente pelas empresas responsáveis pelo transporte e distribuição de energia elétrica, que avaliam desde situações de risco que envolvem o sistema de proteção e o SEE, ao simples teste de um determinado relé de proteção.

O simulador RTDS é baseado numa arquitetura de processamento paralelo concebido especificamente para resolver o algoritmo de simulação dos transitórios eletromagnéticos de uma rede elétrica, desenvolvido pelo Dr. *Hermann Dommel*[1]. O seu principio de funcionamento em 'tempo real' é baseado na utilização discreta de passo de integração de pequeno intervalo de tempo, assemelhando-se assim o mais possível da realidade continua sendo que, quanto menor for o passo de integração, mais próximo do 'tempo real' a simulação fica, aumentando a sua exatidão [7]. Tipicamente, o passo de integração para as simulações em 'tempo real' deste simulador é da ordem dos 50μs. O simulador RTDS permite simular uma série de aspetos relativos ao estudo e análise de redes elétricas simples ou complexas em malha fechada, destacando-se as seguintes capacidades:

- Testes ao equipamento de proteção, comando e controlo num ambiente fechado, seguro, preciso, minucioso e em tempo real, devido à simulação totalmente digital, permitindo ainda detetar possíveis erros de projeto;
- Análise ao comportamento da rede de transmissão e distribuição de energia elétrica, permitindo o teste a múltiplos dispositivos de proteção que interagem com uma mesma rede simulada;
- Análise à interação entre equipamentos AC/DC presentes na SE;
- Simulação de condições de risco induzidas estrategicamente ao SEE e verificação do comportamento do equipamento de proteção perante tal situação;
- Estudo do impacto da introdução de novos equipamentos e instalações à rede existente, bem como possíveis modificações ou atualizações antes da sua implementação prática;
- Capacidade para treinar pessoal, sobre o funcionamento dos sistemas e seus componentes, sem que seja afetada a normal operação do sistema e em segurança;

[1] Foi um dos criadores de *softwares* capazes de resolverem transitórios eletromagnéticos em sistemas de potência, como o PSCAD.

- Permite a operação de conjuntos de ensaios de forma automatizada, economizando tempo.

A interface do simulador com o exterior permite o uso de enumeras entradas e saídas, analógicas ou digitais, representadas na Figura 3.9 sem afetar de modo algum o tráfego de informação. Esta estrutura de entradas/saídas é bastante modular, permitindo uma interconexão flexível e segura. Um conjunto de saídas analógico de baixo nível (+/-10 V_{pico}) que podem ligar diretamente ao dispositivo a testar, ou, como é mais frequente, via amplificadores de potência, que permitem elevar os valores de tensão e corrente do simulador para valores secundários dos relés, normalmente valores nominais de 110V, para tensões, e de 1 ou 5A para as correntes, que são proporcionais aos valores instantâneos do sinal a ser representado. Existe ainda a possibilidade de acesso por *ethernet*, fornecendo a capacidade de várias pessoas executarem várias simulações em simultâneo ou para uma única pessoa realizar uma simulação em grande escala com todo o equipamento.

Figura 3.9 - Painel de entradas/saídas digitais de baixa tensão (esquerda) e painel de saídas digitais de alta tensão (250 Vcc) (direita) [15].

O *hardware* modular do simulador RTDS permite que sistemas de diferentes tamanhos possam ser testados, pela adição de unidades, *Racks*, ao simulador conforme as necessidades. Por exemplo, para a simulação de um sistema de elevada dimensão, este deve ser dividido em subsistemas, os quais serão resolvidos por diferentes *Racks*. Cada *Rack* incluí cartões de comunicação *interRack*, os quais permitem que a informação seja compartilhada entre os diferentes subsistemas, e cartões de processamento ligados através de um barramento comum. Cada *Rack* contém ainda um cartão de interface com a *workstation* a qual sincroniza os cálculos de simulação e coordena a comunicação entre os cartões de processamento bem como a comunicação entre *Racks*. Fornece ainda comunicação via *ethernet* entre a interface gráfica do utilizador durante as simulações reais. Os cartões de processamento são responsáveis por calcular o comportamento global da rede. Na Figura 3.10 está representado o simulador RTDS com ênfase à sua constituição física.

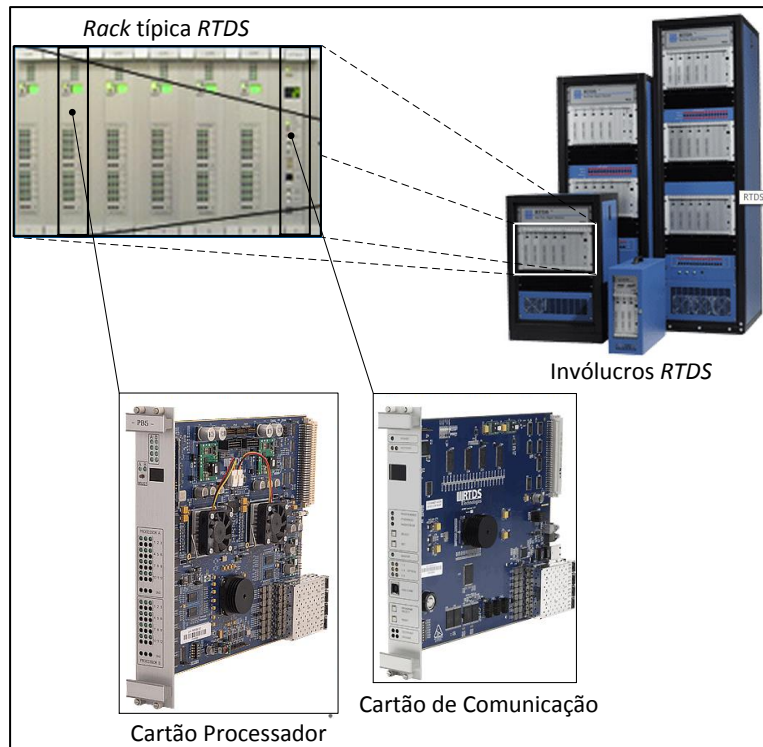



Figura 3.10 – Vista geral de *Hardware* do *RTDS* [15].

(i) *Software* RSCAD [15]

A principal interface do utilizador com o simulador RTDS é através de um *software* de fácil utilização, RSCAD, que permite ao utilizador a construção dos circuitos a simular e a sua execução e operação a partir de uma interface *user-frendly*. O *software* de interface gráfico incluí uma biblioteca de componentes do sistema de potência e controlo que permitem o desenho, em ambiente *CAD*, do sistema a simular. Após o desenho do circuito, os parâmetros específicos de cada componente são introduzidos no modelo. Uma vez que o simulador RTDS opera em tempo real 'contínuo', o sistema de alimentação pode ser 'operado' de uma forma semelhante a um sistema real. O *software* RSCAD é composto por um conjunto principal de 5 módulos, os quais se descrevem nos pontos seguintes.

Figura 3.11 - Interface principal do *software* RSCAD [15].

1. *Draft*

O módulo *Draft* do RSCAD, módulo de projeto, representado na Figura 3.12, permite a construção gráfica do circuito de potência a simular. Através da sua interface gráfica é possível desenhar um esquemático utilizando os componentes existentes em diversas bibliotecas, estando o utilizador habilitado a editar os valores dos diferentes parâmetros dos componentes, assim como da simulação projetada. De destacar algumas bibliotecas, como a dos componentes do sistema de potência, como por exemplo fontes de tensão e corrente, linhas e cabos, máquinas síncronas e de indução, HVDC, FACTS, compensação série, transformadores, componentes de geração distribuída (geradores eólicos, fotovoltaico,…), entre outros [15]. Existe uma outra biblioteca que dispõe componentes de controlo, tal como *user-inputs* (interrutores, botões, e similares), constantes, funções matemáticas, funções trigonométricas, funções lógicas, controladores de geradores, entre muitos outros [15]. Salientar também a biblioteca de componentes dos sistemas de proteção e automação, como relés de proteção (distância, MI,…), IEC 61850 (GOOSE binário e analógico), controlo de disjuntores, entre outros [15]. Todos estes componentes foram projetados com a capacidade de operação em tempo real, sendo alvo de constantes aperfeiçoamentos.

Realizado o esquemático de simulação e a sua devida configuração, o utilizador tem a opção de 'correr' um *PowerFlow* (trânsito de potências) dentro do próprio *software* de modo a obter os valores iniciais nodais para que posteriormente possam ser utilizados como valores iniciais do método de integração numérica, facilitando a convergência do método utilizado. De seguida o circuito construído será submetido a um processo de compilação, sendo criado o código de simulação necessário para o simulador. Este processo automatizado divide as tarefas de cálculo necessárias pelos processadores disponíveis. Uma vez completado este processo de compilação, a simulação pode ser executada com recurso a um outro módulo do *software*, designado de *RunTime*.

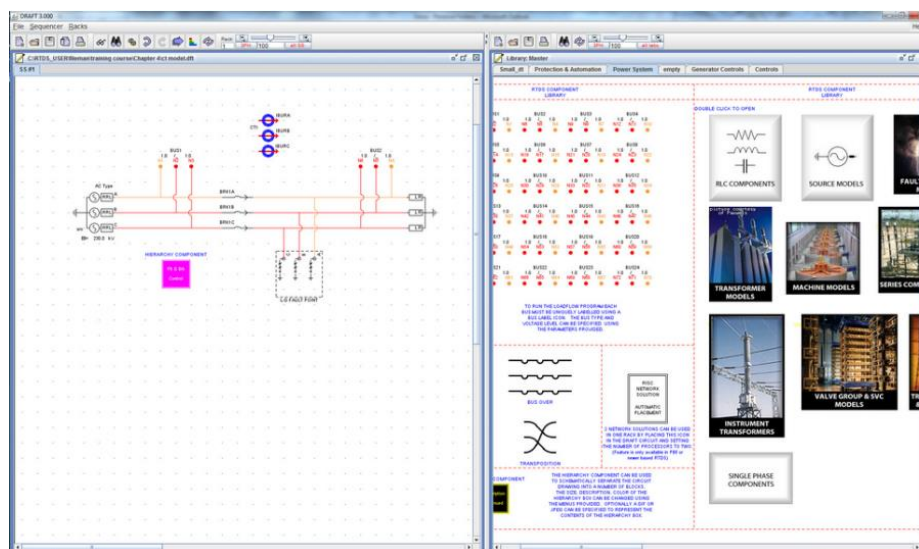



Figura 3.12 - Ambiente gráfico do módulo *Draft*. À direita: várias bibliotecas de componentes do sistema de potência, comando e controlo. À esquerda: tela de desenho do esquemático a simular [15].

2. *RunTime*

O módulo *RunTime*, representado na Figura 3.13, opera através de um PC ou *workstation* que se encontra em comunicação com o simulador RTDS via *ethernet*. Através desta interligação é enviado o caso de estudo compilado para o simulador sendo possível a partir deste instante proceder-se à sua simulação.

A rede de comunicação possibilita, através de comunicação bidirecional, que os resultados das simulações sejam mostrados no ecrã e em 'tempo real', possibilitando a visualização da evolução das grandezas de modo contínuo, através de gráficos por exemplo, possibilitando ainda interagir com o sistema em simulação, como fechar ou abrir disjuntores ou mesmo simulando defeitos na rede, verificando-se assim o comportamento do sistema a diferentes estados/defeitos ao qual está exposto no mundo real.

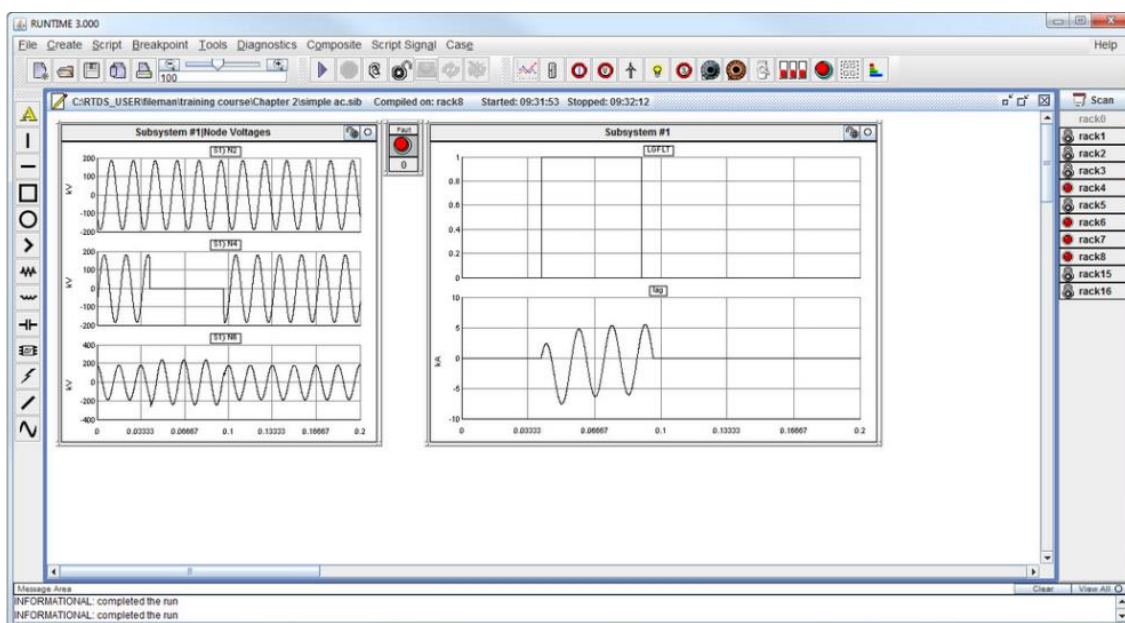



Figura 3.13 - Ambiente gráfico do módulo *RunTime* em tempo real [15].

3. *File Manager*

Com o módulo *File Manager* é possível a organização e partilha de projetos de simulação, permitindo o acesso a qualquer caso de simulação que se encontre na mesma rede local por diferentes utilizadores para tal autorizados.

4. *Cable*

O módulo *Cable* fornece um mecanismo para cálculo das características das ondas 'viajantes' dos cabos com base em dados físicos.

5. *TLine*

Tal como o módulo anterior, fornece um mecanismo para cálculo das características das ondas 'viajantes' das linhas de transmissão, com base em dados físicos e na geometria das linhas e em alguns casos específicos com base em dados da sequência positiva e homopolar.

6. ***MultiPlot***

O módulo *MultiPlot* é utilizado no pós-processamento, permitindo uma análise dos gráficos e de anotações de resultados obtidos no simulador, especialmente útil para organização de dados e resultados para a elaboração de relatórios.

7. ***Component Builder***

O módulo *Component Builder* permite ao utilizador criar novos modelos de componentes a utilizar nas simulações em 'tempo real', incluindo representações gráficas, menús de dados e código de simulação.

Apresentados os principais pontos de interesse relativos ao simulador RTDS e ao seu *software* verifica-se que eles são uma alternativa válida aos testes realizados em 'circuito aberto', dispondo ainda de um conjunto de recursos adicionais apresentados em [15], onde se descrevem também as diferentes aplicações desta ferramenta, sendo uma delas referente aos ensaios realizados no âmbito da rede local de comunicação segundo o definido pela Norma CEI 61850, descrito no ponto 5.9.

3.7 Comentários Finais

O funcionamento permanente dos Sistemas Elétricos de Energia com elevada continuidade e qualidade de serviço advém de um longo percurso de trabalhos que englobam as mais variadas tarefas desde planeamento, projeto, concessão dos equipamentos, ensaios individuais, montagem no local, ensaios de verificação no local, entrada em serviço, exploração e manutenção. As fases de ensaio requerem a elaboração de planos universais bem estruturados por equipas técnicas e engenheiros especializados. Só assim se garante o correto funcionamento dos sistemas e a garantia de longos períodos de vida útil. A necessidade de equipamentos de teste para a elaboração de tais ensaios é também um equipamento cada vez mais requerido e com maiores exigências por parte dos especialistas que realizam os diversos tipos de ensaios. A modificação permanente das regras e protocolos de concessão e de funcionamento dos componentes que compõem os sistemas requer um constante aperfeiçoamento dos métodos de ensaio e dos equipamentos de teste. É o caso do protocolo CEI 61850, como será exposto no Capítulo 5.

Capítulo 4

A Norma CEI 61850: Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações

Neste capítulo será descrita a nova forma de comunicação local nas Subestações de Energia Elétrica (SE's), a qual se rege pela utilização da Norma Internacional CEI 61850: Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações, primeira edição, data de 2003/2004. É apresentada uma breve introdução acerca das motivações da criação da CEI 61850, as principais características, vantagens e a modelação dos equipamentos da SE e como são eles vistos pelos outros perante a Rede Local de Comunicação (RLC). Por se tratar de uma Norma tão extensa a abordagem aqui realizada será focada na RLC das SE's, ao nível do comando e controlo da SE, onde se encontram os Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED's, do inglês: *Intelligent Electronic Device*) nível 1.

4.1 Notas introdutórias à Norma CEI 61850

A evolução dos Sistemas de Automação de Subestações (SAS) deve-se, em grande parte, à utilização de dispositivos de proteção, comando e controlo com microprocessamento. Desde a utilização de dispositivos com apenas funções de proteção, até à utilização de dispositivos multifuncionais, que permitem além de funções de proteção, funções adicionais como medida, registo de eventos, comando e controlo dos sistemas, muito evoluiu a qualidade de serviço prestado pelas empresas de distribuição de energia elétrica. Nos tempos mais recentes, com a introdução dos IED´s nos SAS, uma RLC é requerida para o bom funcionamento e eficiente operação de todo o Sistema Elétrico de Energia (SEE), permitindo um maior comando e controlo do mesmo, simplificando as instalações através da redução do interface elétrico. A utilização de uma RLC, ou LAN[2], do inglês: *Local Area Network*, implica o uso de regras bem definidas para a troca de informação. As regras são definidas pelos

[2] Uma LAN, do inglês *Local Area Network*, é uma Rede de Área Local que interliga equipamentos processadores que permite a comunicação entre eles, com a finalidade de troca e partilha de dados.

protocolos de comunicação. Muitos são os protocolos de comunicação utilizados nas diversas SE's, sendo alguns concebidos para aplicações específicas, como é o caso da utilização de diferentes protocolos de comunicação entre diferentes fabricantes de IED's, o que origina 'ilhas de comunicação'. A utilização de diferentes protocolos implica a implementação de dispositivos adicionais capazes de tornarem possível a comunicação entre os equipamentos (*gateways*), aumentando assim o custo de aquisição e manutenção dos SAS. Com base nestas imposições foi desenvolvida a Norma CEI 61850.

A CEI - Comissão Eletrotécnica Internacional, do inglês: *International Electrotechnical Commission*, é uma organização mundial para normalização de dispositivos elétricos, com o objetivo de promover uma cooperação internacional sobre questões que dizem respeito à eletrotécnica e à eletrónica. A CEI 61850 é uma Norma Internacional com o principal objetivo de garantir que dispositivos de diferentes fabricantes possam comunicar entre si sem a necessidade de um conversor de protocolos, ou *gateways*, nos diferentes níveis da SE, garantindo assim a Interoperabilidade. A CEI 61850 surgiu de estudos e investigações realizados nos Estados Unidos, no EPRI, do inglês: *Electric Power Reserch Institute*, num projeto designado de UCA, do inglês: *Utility Communications Architecture*, e de três grupos de trabalho da CEI, na Europa. Estas organizações de investigação estavam a trabalhar segundo os mesmos objetivos e portanto decidiram associar-se para obter uma Norma Internacionalmente aceite. A Norma CEI 61850, Primeira Edição, foi lançada em 2003/2004 e desde então vem sendo constantemente aperfeiçoada e alargada. A CEI 61850 caracteriza-se como um conjunto de Regras e Protocolos para o estabelecimento e uniformização da comunicação dentro de uma SE através do uso da rede LAN *ethernet* de alta velocidade e elevada fiabilidade para proteção e automação. Isto permite uma completa integração entre os diversos equipamentos digitais, possibilitando a disponibilização das informações de interesse aos seus utilizadores, tais como operador local, operador do Centro de Comando e Controlo (remoto), equipas de pré e pós-operação, manutenção, proteção, entre outros. A CEI 61850 veio ainda facilitar a expansão dos sistemas, oferecendo a garantia de expansibilidade e interoperabilidade, inclusive entre IED's de diferentes fabricantes [19].

4.2 Motivação para o Desenvolvimento da CEI 61850

A grande motivação para o desenvolvimento da CEI 61850 pode ser entendida com a seguinte comparação: 'Imagine uma festa onde os convidados falam em línguas diferentes, cada um conforme o seu próprio idioma. Ninguém compreende o que o outro diz. Contudo foram disponibilizados tradutores para atenuar esse impasse, de forma que, a comunicação entre os convidados se dá somente por intermédio do tradutor. A comunicação geral poderá causar grandes esforços para a compreensão, comprometendo a diversão do evento'. De forma semelhante, este 'constrangimento' faz parte das entidades exploradoras e fabricantes

dos equipamentos de automação das SE's e por isso surgiu a necessidade de uniformização, conseguido através da Norma CEI 61850 [20].

A Norma CEI 61850 surgiu, portanto, da necessidade de eliminar o excesso de protocolos e padrões de comunicação existentes atualmente no mercado, os quais geram problemas de comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes. A CEI 61850 pretende também reduzir o custo operacional dos SEE's, possibilitando a expansão a longo prazo, eliminação de atrasos, possíveis erros e aumentar a fiabilidade dos sistemas, promovendo uma maior segurança aos operadores.

4.3 Requisitos Fundamentais para o Desenvolvimento da CEI 61850

A elaboração da Norma CEI 61850 assenta num conjunto de requisitos alvo a atingir, sendo eles a base de toda a investigação e dedicação dos investigadores. É de extrema importância garantir, que numa mesma RLC, a implementação de equipamentos de diferentes fabricantes não seja um obstáculo à comunicação entre eles. Garantir a interoperabilidade apresenta-se assim como o primeiro requisito da Norma CEI 61950 [21]. Outros requisitos devem ser tomados em conta devido à sua importância, tais como:

- Elevada velocidade de comunicação entre IED's de uma SE;
- Capacidade de funcionar em rede;
- Elevada disponibilidade;
- Normalização;
- Garantir tempo de entrega;
- Suporte para fluxo de amostras de dados, de tensão e corrente;
- Suporte para transferência de ficheiros;
- Suporte para configuração/autoconfiguração;
- Suporte para segurança;
- Liberdade de configuração;
- Estabilidade a longo prazo.

4.4 Norma CEI 61850: Objetivos e Vantagens

Depois de apresentados os requisitos fundamentais que regem a criação da Norma CEI 61850, desde logo se toma como principal objetivo da Norma CEI 61850 a garantia desses mesmos requisitos. Assim tem-se como principais objetivos [19]:

- Garantir a interoperabilidade entre IED's de diferentes fabricantes, que apesar da diferente origem, possam trocar informação de forma irrestrita, em qualquer tempo, de forma rápida, precisa e com elevada confiabilidade, para executar as funções de proteção, comando e controlo do sistema;

- Atender a diferentes tipos de arquitetura das RLC utilizados;
- Permitir a comunicação entre IED's com elevada velocidade e confiabilidade, utilizando mensagens prioritárias, garantindo desta forma o tempo mínimo de atuação dos sistemas de proteção;
- A Norma deve ser 'à prova do futuro', garantindo estabilidade de longo prazo, isto é, deve estar apta a seguir o progresso da tecnologia de comunicação, assim como a evolução das exigências do sistema, sem requerer alterações significativas no *hardware* e *software* das RLC nas SE's, com um custo reduzido.

Para que os objetivos sejam alcançados, a CEI 61850 utiliza a abordagem orientada a objetos e subdivide as funções em objetos denominados Nós Lógicos (LN's, do inglês: *Logical Nodes*) os quais comunicam entre si. Assim, as funcionalidades requeridas para a proteção e automação da SE são focadas nos LN's e não na quantidade de IED's ou funções utilizadas [19].

Relativamente às vantagens que mais impacto se obtém no SAS com a introdução da Norma CEI 61850 é a possibilidade de se reduzir significativamente a quantidade de cabos e de pontos de entrada e saída dos equipamentos digitais. Esta redução é conseguida através do compartilhamento das múltiplas informações sobre o processo entre os diversos subsistemas. Assim, por exemplo, as informações analógicas e de estado relativas ao processo podem ser adquiridas pelos relés das proteções primária e secundária e compartilhadas, através da RLC, com os sistemas de supervisão, comando, controlo e automação, com custos menores e com maior confiabilidade [19].

As vantagens focadas nos benefícios económicos providos pela Norma CEI 61850 não estão na aquisição dos equipamentos, nem no sistema, uma vez que o seu custo de implementação inicial é relativamente superior em comparação com outros protocolos, mas sim durante a sua utilização a longo prazo, nomeadamente no que diz respeito à manutenção e expansão do SAS, como se pode facilmente perceber pela Tabela 4.1 [22].

Tabela 4.1 - Justificações económicas de migração para a Norma CEI 61850 [22].

Descrição	Protocolos Antigos	CEI 61850	Impacto
Compra do equipamento	€	€€	-
Instalação	€€	€	+
Configuração	€€	€	+
Aplicação/Migração	€€€	€	++
Flexibilidade/Manutenção	€€€	€	++

4.5 Estrutura da Norma CEI 61850

A Norma CEI 61850 é estruturada em dez grandes secções. Cada secção corresponde ao seu tema específico. Na Tabela 4.2 apresenta-se a estrutura da Norma CEI 61850 de forma geral, onde são identificados os diferentes temas de cada parte constituinte.

Tabela 4.2 – Diferentes partes constituintes da Norma CEI 61850.

Norma-Parte	Tema	Descrição
CEI 61850-1	**Introdução e Visão Geral**	Introdução e resumo geral da Norma CEI 61850, incluindo outras partes na Norma.
CEI 61850-2	**Glossário**	Composta pelo glossário de terminologia específica e definições usadas no contexto de SAS das várias partes da Norma CEI 61850.
CEI 61850-3	**Requisitos Gerais**	Requisitos gerais da rede de comunicação, com ênfase nos requisitos de qualidade. Contempla ainda instruções de condições ambientais e serviços auxiliares.
CEI 61850-4	**Planeamento do Projeto e Sistema**	Contempla o planeamento do projeto e sistemas no que diz respeito à: · Engenharia de processo e suas ferramentas de suporte; · Ciclo de vida total do sistema e dos seus IED's; · A garantia de segurança, a começar com o estágio de desenvolvimento e terminar com a descontinuação e descomissionamento do SAS e modelos dos dispositivos.
CEI 61850-5	**Requisitos de Comunicação**	As especificações desta parte referem-se aos requisitos das funções aplicadas no SAS e aos modelos dos dispositivos.
CEI 61850-6	**Linguagem de Configuração de Subestação (SCL)**	Especifica a linguagem utilizada para a configuração dos IED's, para descrever o esquema unifilar da SE e a rede de comunicações. Cada dispositivo irá providenciar de um arquivo SCL com a sua própria configuração.
CEI 61850-7	**Modelo de Comunicação**	Detalha a arquitetura de comunicação de SE's (parte principal) por camadas e define os tipos de atributos e classes de dados comuns relacionados à aplicação em subestações. Esta parte divide-se em 4 sub-partes: .1-Princípios e modelos; .2-Interface de Serviços de Comunicação Abstrata (ACSI); .3-Classe de Dados Comuns (CDC); .4-Classes de LN's e Classes de Dados Compatíveis. (especificação de todos os LN's)

CEI 61850-8	**Mapeamento Específico dos Serviços de Comunicação**	Propõe-se a prover uma operação entre dispositivos de uma variedade de SE's para alcançar interoperabilidade, provendo informações detalhadas de como criar e trocar mensagens de comunicação. Implementa uma das vantagens deste protocolo, a interoperabilidade. .1-Define-se uma ligação unidirecional *multidrop point-to-point* para transporte de um conjunto fixo de dados; .2-Define-se um conjunto de dados configurável que pode ser transmitido em ligações *multicast* entre um *publisher* e *subscribers*.
CEI 61850-9	**Redes de Comunicação e Sistemas**	Especifica o mapeamento dos serviços de comunicação específicos para conexões ponto-a-ponto (*ethernet*) e do nível de processo.
CEI 61850-10	**Testes de Conformidade**	Define o que deve ser testado num IED e quais os resultados esperados para que este possa estar em conformidade com a Norma CEI 61850. São definidos os procedimentos de ensaio de equipamentos e sistemas e a documentação e equipamentos para a sua realização.

As Edições da Norma CEI 61850 mais recentes englobam já uma Parte referente ao uso da mesma para Comunicações entre SE, Parte 90-1: '*Use of IEC 61850 for the Communication between substations*'. Com as alterações sucessivas o título principal da Norma sofre também um *upgrade*, designando-se agora de '*Communication Networks and Systems for Power Utility Automation*' – Redes de Comunicação e Sistemas para Automação da Rede Elétrica.

4.6 Modelo de Dados [23]

A Norma CEI 61850 define e padroniza um modelo de dados. Os modelos de dados representam os atributos e funções dos dispositivos físicos de uma SE. É um modelo orientado a objetos e os dados são trocados entre funções e subfunções que estão nos IED's.

Os IED's são formados por um *hardware* e por um conjunto de funções residentes que caracterizam o seu comportamento, *software*. As funções utilizam classes de dados e as respetivas instâncias de dados. Um conjunto de funções ou subfunções internas do IED que troquem informações formam um LN. Um conjunto de LN's forma um Dispositivo Lógico, LD, do inglês: *Logical Device*, onde se encontram organizados todos os dados necessários para cumprir as funcionalidades previstas. O LD está residente no Dispositivo Físico (PD, do inglês: *Physical Device*) ou IED, responsável por guardar todos os dados indispensáveis à conexão do IED à rede existente. As instâncias presentes no IED são responsáveis por armazenar toda a informação relativa às funcionalidades possíveis de implementar por este.

A Figura 4.1 representa graficamente o modelo teórico de um IED tal como a Norma CEI 61850 o define. Como se pode verificar o modelo apresenta uma estrutura hierárquica onde se vão consecutivamente definindo todas as estruturas que o compõem.

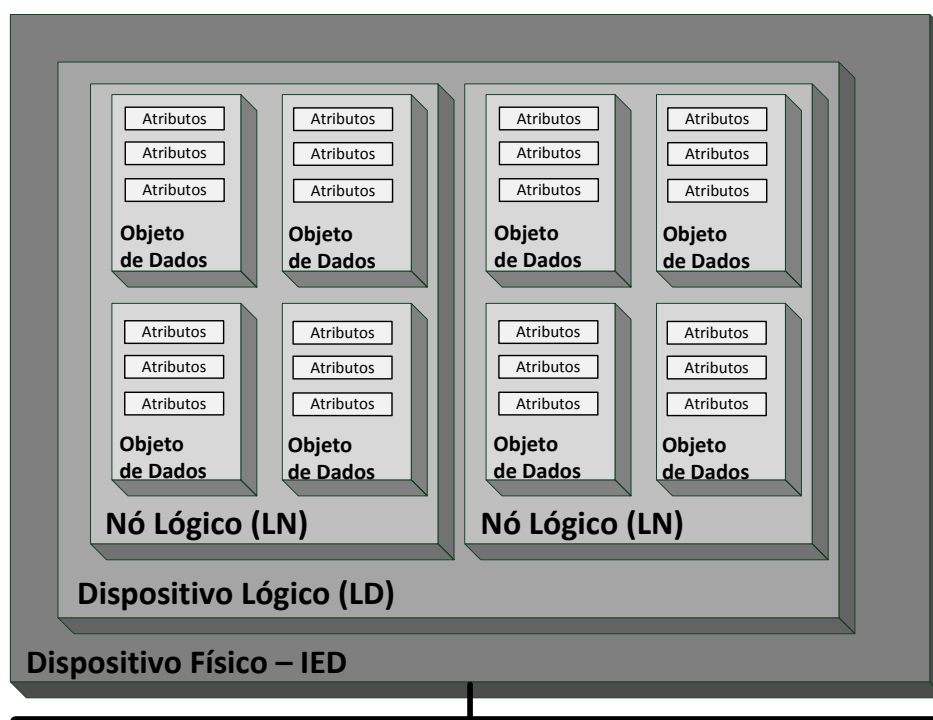



Figura 4.1 - Modelo de dados do IED segundo a Norma CEI 61850 [24].

4.7 Nós Lógicos

Todas as funções de um SAS, tal como supervisão, controlo e proteção, são decompostas em LN's sob um nome único, definido pela CEI 61850 [25], os quais são alocados num ou mais LD's. Os LD's são compostos por um grupo de LN's que além de interagirem internamente, podem interagir externamente com os LN's de outros PD's. De forma a possibilitar a troca de dados, os LN's são interligados por Ligações Lógicas (LC, do inglês: *Logical Connection*) alocadas a Ligações Físicas (PC, do inglês: *Physical Connection*) [21]. Portanto, todo o LN é parte de um PD e toda a LC é parte de uma PC. Estes aspetos estão salientados na Figura 4.2.

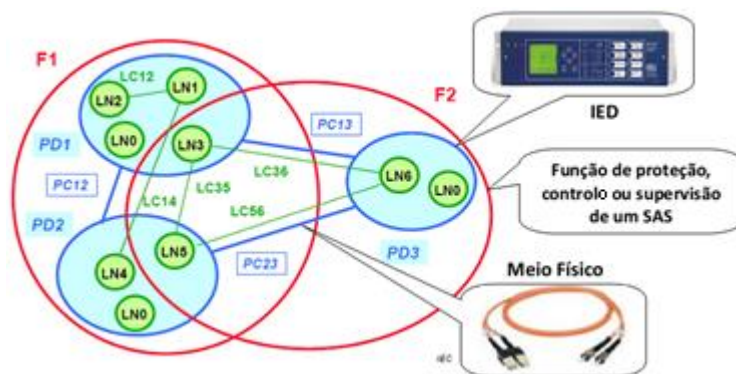



Figura 4.2 - Interação dos Nós Lógicos [21].

A informação trocada entre LN's é descrita por PICOM's, do inglês: *Piece of Information for COMmunication*, os quais contém o 'conteúdo' e os requisitos de comunicação, 'atributos' [21]. Os componentes de um PICOM são:

- Os Dados, em termos do conteúdo de informação e a sua identificação como requerida para funções (semântica);
- O Tipo, descreve a estrutura dos dados, isto é, se é um valor analógico ou binário, se é um valor singular ou um conjunto de dados, entre outros;
- A Performance ou desempenho, no sentido do tempo de transmissão permitido (definido por classe de performance), a integridade dos dados e o método ou causa da transmissão (por exemplo, periódico, causado por um evento ou pedido);
- Conexão Lógica, contendo a fonte lógica (LN emissor) e o escoamento lógico (LN de destino ou recetor).

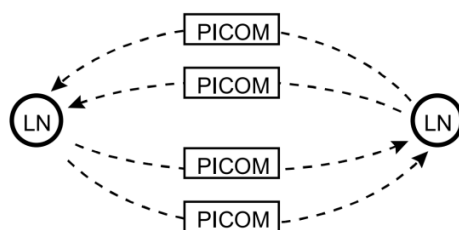



Figura 4.3 - Troca de dados entre LN's [26].

4.7.1 Semântica dos Nós Lógicos

Cada LN contém um ou mais elementos de Dados, os quais possuem um nome único. Os nomes dos elementos de Dados são definidos pela CEI 61850, Parte 7-4, e estão relacionados com o propósito funcional no sistema de potência [25]. Por exemplo, um disjuntor é modelado por um LN XCBR, que contém uma variedade de Dados entre os quais *Pos* (ver Figura 4.4), para indicações associadas à posição do equipamento [25].

Os Dados que compõem um LN são agrupados em categorias e classificados por Classes de Dados Comuns (CDC), que definem os tipos de Atributos. Assim, Classes de LN's diferentes podem ser caracterizadas por Atributos iguais, desde que as Classes de Dados pertençam à mesma CDC. O Dado *Pos*, da Classe XCBR, pertence à Classe de Dados *Controllable Double Point* (DPC) [27], com vários Atributos, e entre esses encontra-se o Atributo *StVal*, que indica o estado atual do disjuntor. Estes aspetos podem ser observados na Figura 4.4. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 4.5 a estrutura hierárquica do LN XCBR, o qual representa a imagem virtual de um disjuntor.

A Norma CEI 61850, na sua Parte 7-4 [25], define aproximadamente uma centena e meia LN's, agrupados em categorias, conforme apresentado no Anexo C. Na mesma referência podem ser vistos todos os LN's e os seus respetivos Dados de forma detalhada. É com o recurso a estes LN's que os fabricantes deverão implementar as suas unidades de proteção, automação, comando e controlo.

XCBR class				
Attribute Name	**Attr. Type**	**Explanation**	**T**	**M/O**
LNName		[illegible]d from Logical-Node Class (see IEC 61850-7-2)		
Data				
Common Logical Node Information				
		LN shall inherit all Mandatory Data from Common Logical Node Class		M
Loc	SPS	Local operation (local means without substation automation communication, hardwired direct control)		M
EEHealth	INS	External equipment health		O
EEName	DPL	External equipment name plate		O
OpCnt	INS	Operation counter		M
Controls				
Pos	DPC	Switch position		M
BlkOpn	SPC	Block opening		M
BlkCls	SPC	Block closing		M
ChaMotEna	SP[illegible]			
Metered Values				
SumSwARs	BC[illegible]			
Status Information				
CBOpCap	IN[illegible]			
POWCap	IN[illegible]			
MaxOpCap	IN[illegible]			

Categorias em que se agrupam os *Data*

DPC class					
Attribute Name	**Attribute Type**	**FC**	**TrgOp**	**Value/Value Range**	**M/O/C**
DataName	Inherited from Data Class (see IEC 61850-7-2)				
DataAttribute					
control and status					
ctlVal	BOOLEAN	CO		off (FALSE) | on (TRUE)	AC_CO_M
operTm	TimeStamp	CO			AC_CO_O
origin	Originator	CO, ST			AC_CO_O
ctlNum	INT8U	CO, ST		0..255	AC_CO_O
stVal	CODED ENUM	ST	dchg	intermediate-state | off | on | bad-state	M
q	Quality	ST	qchg		M
t	TimeStamp	ST			M
stSeld	BOOLEAN	ST	dchg		AC_CO_O
substitution					
subEna	BOOLEAN	SV			PICS_SUBST
subVal	CODED ENUM	SV		intermediate-state | off | on | bad-state	PICS_SUBST
subQ	Quality	SV			PICS_SUBST
subID	VISIBLE STRING64	SV			PICS_SUBST
configuration, description and extension					
pulseConfig	PulseConfig	CF			AC_CO_O
ctlModel	CtlModels	CF			M
sboTimeout	INT32U	CF			AC_CO_O
sboClass	SboClasses	CF			AC_CO_O
d	VISIBLE STRING255	DC		Text	O
dU	UNICODE STRING255	DC			O
cdcNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_M
cdcName	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_M
dataNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLN_M
Services					
As defined in Table 31					

Figura 4.4 - Exemplo das tabelas de LN's e de CDC [25] e [27].

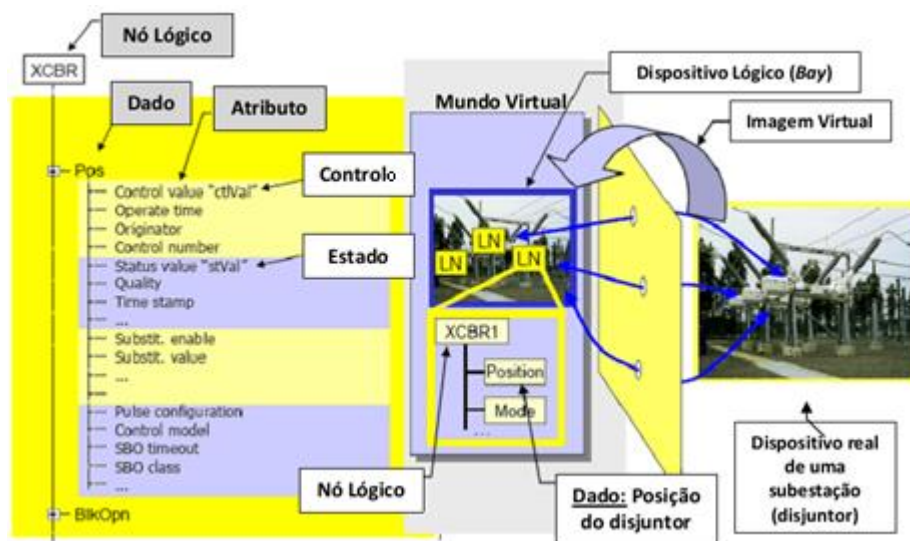



Figura 4.5 - Estrutura hierárquica do LN XCBR (imagem virtual do disjuntor) [26].

4.7.2 Nó Lógico Zero

O Nó Lógico Zero (LLN0, do inglês: *Logical Node Zero*) representa os dados comuns do LD. É através do LLN0 que são estabelecidos todos os serviços previstos pela Norma CEI 61850. Nestes serviços incluem-se funcionalidades como a comunicação vertical e horizontal, referidas na secção 4.9. Estes serviços são responsáveis pela comunicação entre LN, e como tal assumem um papel central na configuração da SE.

A noção que cada fabricante de IED's atribuí ao LLN0 é diferente. Essas diferenças são origem de conflitos na comunicação e na configuração do SAS, principalmente quando se pretende a comunicação entre IED's de distintos fabricantes. Esta diferente interpretação causa assim uma barreira à interoperabilidade.

4.7.3 Organização funcional dos Nós Lógicos

A Norma CEI 61850 suporta diferentes filosofias e permite a livre alocação de funções. Isto significa que pode trabalhar igualmente para o conceito centralizado ou descentralizado. Com isto, os LN's podem ser alocados em múltiplos dispositivos a nível de controlo, ou num único dispositivo, permitindo por parte do usuário a utilização de qualquer filosofia de sistemas.

A organização hierárquica dos dados através da concatenação dos nomes das instâncias, LN's, Dados e Atributos de Dados, permite criar o modelo de informação hierárquica (*ObjectReference*) ou árvore hierárquica, como ilustrado na Figura 4.6.

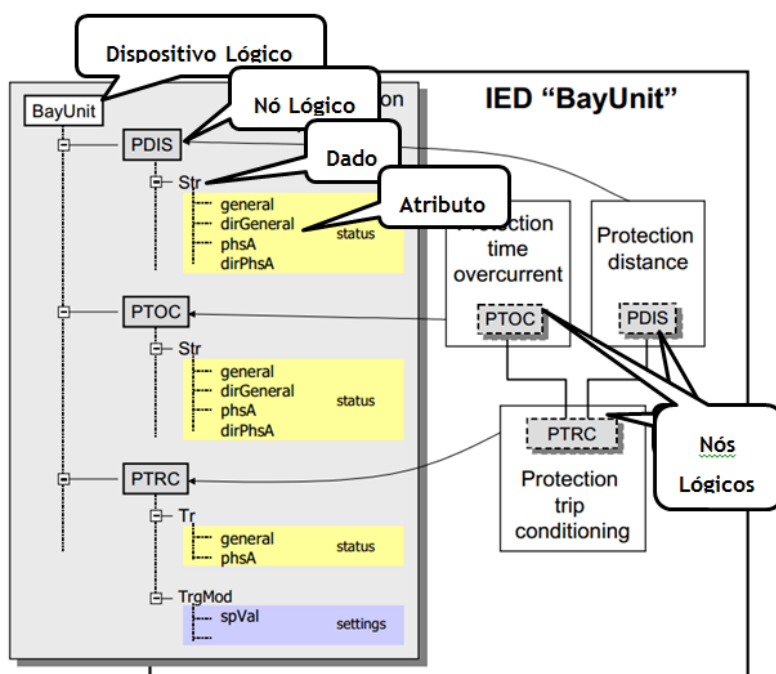



Figura 4.6 - Exemplo de árvore hierárquica implementada num IED [26].

Na prática, quando se explora o conteúdo de um IED, o cliente apresenta os atributos de cada instância de LN segundo uma nomenclatura específica, conforme se ilustra no exemplo da Figura 4.7. A este tipo de arranjo dá-se o nome de Organização Funcional.

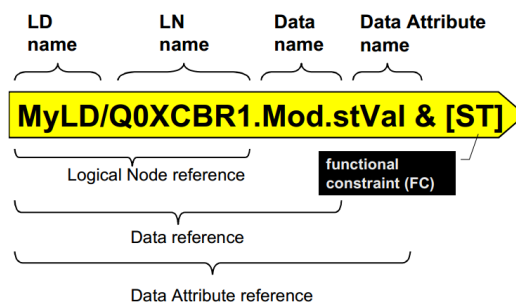



Figura 4.7 - Exemplo de Organização Funcional [26].

Os Dados são referenciados segundo o modelo de orientação a Objetos mantendo a sua hierarquia iniciada pelo PD num nível superior até alcançar o nível inferior de atributo de dados. A seguinte sintaxe referencia de forma genérica um determinado dado de um LN.

DispositivoFísico.NóLógico.ObjetodeDados.AtributodeDados

4.8 Modelo de Serviços

A informação contida num modelo hierárquico é comunicada através de Interfaces de Serviços de Comunicação Abstrata (ACSI, do inglês: *Abstract Communication Service Interface*). Na parte 7-2 da Norma CEI 61850 são definidos dois tipos de interfaces, denominados por Cliente - Servidor e o *Peer-to-Peer* (Editor/Subscritor), tal como apresentado na Figura 4.8 [24] [28].

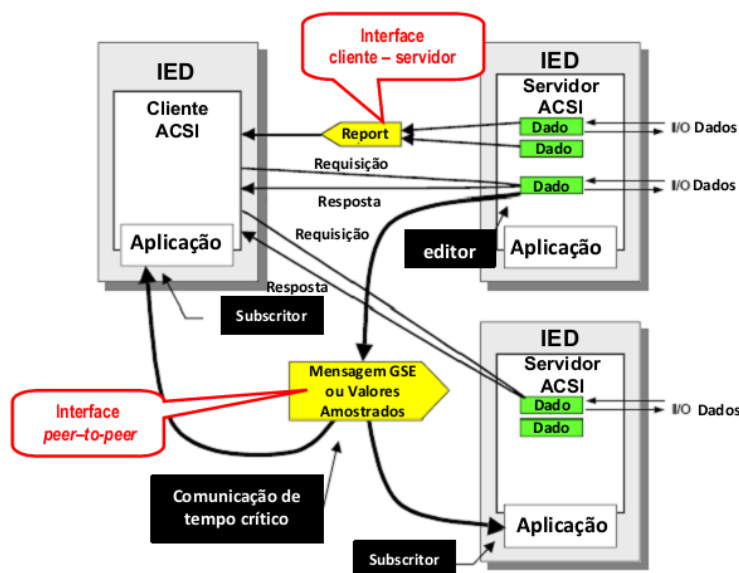



Figura 4.8 - Métodos e comunicação ACSI [26].

A interface *Peer-to-Peer* é uma interface Abstrata para rápida e confiável distribuição de eventos para todo o sistema, entre uma aplicação de um dispositivo e muitas aplicações remotas em diferentes dispositivos (editor/subscritor). A comunicação *Peer-to-Peer* prevê serviços para troca de mensagens GOOSE do tipo *multicast*, e para troca de valores amostrados (*sampled values*) do tipo *multicast* ou *unicast*.

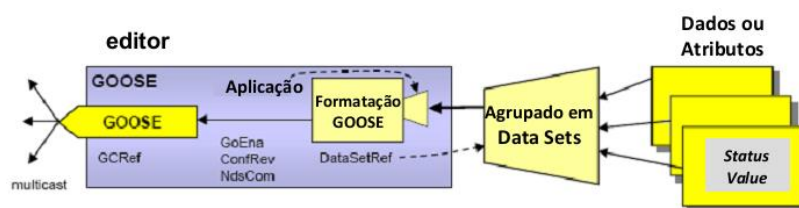



Figura 4.9 - Modelo de comunicação *peer-to-peer* para mensagens GOOSE [26].

4.9 Tipos de Comunicações

Como referido na secção 2.3.1, uma SE pode ser dividida em três grandes níveis, como sendo o nível da Estação (IHM), o nível das Unidades de Painel (IED's) e o nível de Processo (SE - parte de potência). Assim sendo, as comunicações numa SE podem ser classificadas em dois grandes tipos, comunicações verticais e horizontais.

4.9.1 Comunicações Verticais [19]

O tipo de comunicação vertical é realizado entre diferentes níveis da SE onde as informações são transferidas no modo Cliente-Servidor, denominado MMS, do inglês: *Manufacturing Message Specification*, como por exemplo as informações de configuração e operacionais (SCADA), e são disponibilizadas ao operador através da IHM. O Servidor, normalmente um IED, fornece os dados ao Cliente, que pode não ser único, e que está no nível da Estação (computador da SE) ou noutro ponto qualquer (ponto de controlo remoto). Os dados podem ser solicitados pelo Cliente ou automaticamente, a partir de eventos pré-definidos. O modo de comunicação vertical utiliza IP e as camadas do Modelo OSI, tendo a vantagem de possuir um desempenho determinístico mas, pelo contrário, relativamente lento, com tempo de resposta da ordem de 1 a 2 s.

4.9.2 Comunicações Horizontais [19]

A comunicação horizontal é realizada entre o mesmo nível da SE, por exemplo entre o nível dos IED's, sendo caracterizado pelo modo Editor/Subscritor, do inglês: *Publisher/Subscriber*, onde as informações são distribuídas pela rede de forma *unicast*, *multicast* ou *broadcast*, isto é, as mensagens podem ser recebidas por um único, vários ou todos IED's (Subscritores), respetivamente, sendo que estes podem utilizá-la ou não, conforme a necessidade.

As mensagens trocadas na comunicação horizontal não necessitam de sinais de confirmação de entrega, sendo repetidas várias vezes para aumentar a redundância e a segurança de entrega. O serviço que permite a retransmissão das mensagens é denominado de SCSM, do inglês: *Specific Communication Service Mapping*, o qual permite que cada mensagem da retransmissão carregue consigo um parâmetro denominado 'Tempo Permitido para Viver' (do inglês: *Time Allowed To Live*) informando ao recetor o tempo máximo de

espera para a próxima retransmissão. Caso uma nova mensagem não seja recebida nesse intervalo de tempo, o recetor entenderá que a conexão foi encerrada.

O modo de transmissão de mensagens horizontal, ao contrário do modo vertical, não depende das camadas do Modelo OSI, tendo um tempo de comunicação não determinístico mas bastante rápido, com tempos de transmissão da ordem de 4 a 8 ms.

4.10 Tipos de Mensagens [21]

A Norma CEI 61850 indica sete diferentes níveis para as mensagens trocadas no SAS, sendo estas divididas segundo uma ordem de importância para o sistema. Segundo a velocidade de transmissão e a importância das mensagens, estas podem ser divididas em [19]:

- Mensagens de Alta Velocidade: *Trip* (como abertura de um disjuntor) e controlos;
- Mensagens de Média Velocidade: Informações de medidas, estados e comandos;
- Mensagens de Baixa Velocidade: Parâmetros, eventos e transferência de arquivos.

As mensagens de Alta Velocidade tomam o nome de GSE, do inglês: *Generic Substation Events*, que por sua vez são classificadas em GOOSE, do inglês: *Generic Object Oriented Substation Event*, ou GSSE, do inglês: *Generic Substation Status Event*. A diferença entre GOOSE e GSSE reside no facto de que as mensagens GOOSE utilizam um conjunto de dados (do inglês: *data set*) onde a informação é configurável, enquanto as mensagens GSSE suportam apenas uma estrutura fixa de informações de estado publicada e disponibilizada na rede [19].

Na Parte 5 da CEI 61850 definem-se ainda dois grupos de classes de desempenho para as mensagens, nomeadamente:

- Classes de desempenho para propósitos de Controlo e proteção, destacando-se as seguintes classes [21]:
  - **Classe P1**: aplicada a *bays* de distribuição;
  - **Classe P2**: aplicada a *bays* de transmissão;
  - **Classe P3**: aplicada a *bays* de distribuição com características de sincronização de desempenho superior.
- Classes de desempenho para propósitos de medição e qualidade de Energia, destacando-se as classes [21]:
  - **Classe M1**: medição com classe de precisão 0.5 e 0.2, e medição de qualidade até ao 5º harmónico;
  - **Classe M2**: medição com classe de precisão 0.2 e 0.1, e medição de qualidade até 13º harmónico;
  - **Classe M3**: medição de qualidade até 40º harmónico.

A relação estabelecida entre os tipos de mensagens e as diferentes classes de desempenho é apresentada nos seguintes pontos [21].

4.10.1 Tipo 1 – Mensagens de Alta Velocidade (*‘fast message’*)

As mensagens Tipo 1 contêm um código binário simples que por sua vez contém dados, comandos ou mensagens simples, como por exemplo de ‘disparo’, ‘fecho’, ‘ordem de religação’, ‘início’, ‘pára’, ‘bloqueia’, ‘desbloqueia’, ‘mudança de estado’, ‘estado’, entre outras. O IED recetor atuará de imediato no momento da receção deste tipo de mensagens.

(i) Tipo 1A - Disparo (‘*trip*’)

As mensagens Tipo 1A são as mais importantes das mensagens rápidas, apresentando por isso requisitos mais exigentes, nomeadamente de tempo, em comparação com as restantes mensagens rápidas. Apresentam diferentes requisitos de tempo de acordo com as classes de desempenho, sendo que para a Classe P1, o tempo total de transmissão será da ordem de meio ciclo – 10ms. Já para a classe P2/3 o tempo total de transmissão será da ordem de um quarto de ciclo – 3ms.

(ii) Tipo 1B - Outras (‘*others*’)

As mensagens Tipo 1B distinguem-se pelo seu tempo menos exigente relativamente à ordem de disparo, sendo que para a classe P1 o tempo deve ser inferior a 100ms e para a classe P2/3 o tempo deve ser da ordem dos 20ms.

4.10.2 Tipo 2 – Mensagens de Velocidade Média (*‘Medium Speed’*)

Para as mensagens Tipo 2 a hora da sua composição é importante, passando o tempo de envio a ser menos crítico. Devem incluir o registo do instante de tempo em que foram geradas, dado pelo relógio interno do IED editor, devendo ser este o valor de tempo utilizado pelo IED recetor para calcular o intervalo de tempo após o qual atua.

Exemplo das mensagens Tipo 2 é a informação de ‘estado’, devendo o tempo total de transmissão ser inferior a 100ms.

4.10.3 Tipo 3 – Mensagens de Baixa Velocidade (*‘Low Speed’*)

As mensagens Tipo 3 são utilizadas para funções lentas de auto controlo, transmissões de notificações de eventos, leitura ou alteração de valores e apresentação geral de dados do sistema. O seu tempo total de transmissão deve ser inferior 500ms.

4.10.4 Tipo 4 – Mensagens de Dados Não Processadas (*‘Raw Data’*)

As mensagens Tipo 4 incluem dados de saída de transdutores e transformadores digitais de instrumentação, como dados dos TC’s e TT’s. Para dados da classe P1 o tempo total de transmissão deve rondar os 10ms e para dados das classes P2/3 o tempo total de transmissão deve rondar os 3ms.

4.10.5 Tipo 5 – Mensagens de Transferência de Ficheiros (*'File transfer functions'*)

As mensagens Tipo 5 têm como função a transferência de ficheiros de elevado tamanho, relacionados com dados para gravação ou configuração. Normalmente os ficheiros são separados em blocos de tamanho limitado e enviados em várias mensagens deste tipo.

O seu tempo de transferência apresenta-se superior a 1000ms.

4.10.6 Tipo 6 – Mensagens de Sincronização de Tempo (*'Time Synchronization'*)

O objetivo das mensagens Tipo 6 recai na sincronização dos relógios internos dos IED's de um SAS.

4.10.7 Tipo 7 – Mensagens de Comando com Controlo de Acesso (*'Command messages with access control'*)

As mensagens Tipo 7 servem para enviar ordens de comando e controlo, vindas de funções IHM Remotas ou Locais. As mensagens são baseadas nas de Tipo 3, com parâmetros de autenticação adicionais exigidos pelos mecanismos de controlo de acesso (*password*).

4.11 Mensagens GOOSE [29]

As mensagens GOOSE ocorrem na já definida Comunicação Horizontal, referida na secção 4.9.2. Estas mensagens contêm informações que permitem ao recetor conhecer que um *status* foi modificado e o instante em que foi modificado. Segundo a Norma CEI 61850, mensagens GOOSE são geradas aquando da ocorrência de uma mudança de estado, onde um IED transmitirá em Alta Velocidade um Evento de Subestação Genérico Orientado a Objetos (GOOSE), contendo o estado de comando de cada *status* de entrada, com a particularidade de possuírem restrições críticas a atrasos, como no caso de bloqueios ou na transferência de valores amostrados, como corrente e tensão do transformador para que o recetor possa 'reconstruir' o valor original das grandezas, não utilizando todas as camadas da pilha de protocolos. A taxa fixa de publicação das mensagens GOOSE quando não há variação do conteúdo do conjunto de dados atua como as 'batidas do coração'. As mensagens GOOSE utilizam o já definido serviço SCSM, referido na secção 4.9.2, uma vez que não existe um mecanismo que garanta a entrega da mesma.

Alguns exemplos de lógicas que utilizam mensagens GOOSE são: (i) função de falha de disjuntor, (ii) seletividade lógica, (iii) transferência automática de linhas, (iv) transferência de carga entre transformadores no caso de falha num deles, (v) auxílio à manobra de paralelismo de transformadores, entre outros.

Uma mensagem GOOSE não deve ser considerada como um comando entre IED's, dado que não transmite uma ação a realizar pelo dispositivo recetor. As principais características de uma mensagem GOOSE são apresentadas nos pontos a seguir [28]:

- Mapeamento diretamente na camada *ethernet* usando o cabeçalho *ethertype* com o valor hexadecimal 88-B8, tal como apresentado na Figura 4.10. O referido cabeçalho é reservado para aplicações da Parte 8-1 da Norma CEI 61850. Esta característica otimiza a descodificação da mensagem no dispositivo recetor, representando menor tempo de tratamento e transferência da mensagem.

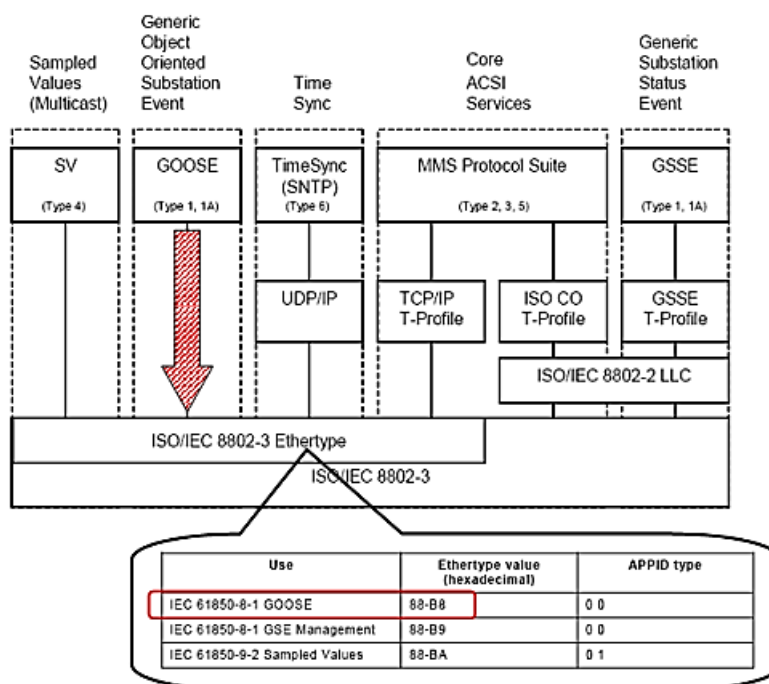



Figura 4.10 - Mapeamento das mensagens GOOSE [29].

- Utilização do método de transmissão *multicast* dentro de uma rede LAN, onde a mensagem é copiada e enviada de um dispositivo Editor para um conjunto específico de IED's, ou dispositivos Subscritores, conforme a Figura 4.11.

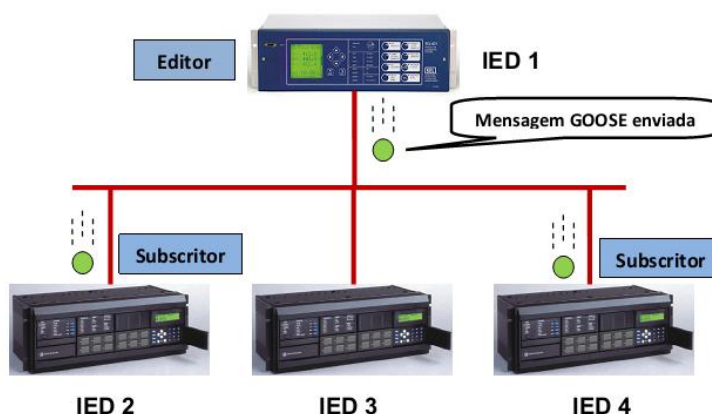



Figura 4.11 - Transmissão *multicast* de uma mensagem GOOSE [28].

- Transmissão rápida e confiável, devendo ser garantida a característica de retransmissão da mensagem em curtos intervalos de tempo, da ordem de poucos milissegundos.

- Para melhorar a segurança e o desempenho dos esquemas de proteção, as mensagens GOOSE utilizam o protocolo VLAN, do inglês: *Virtual Local Area Network*, sobre redes *ethernet*. Este protocolo permite a inserção de um identificador (*tag*) de 4 *bytes* dentro do quadro *ethernet*, que permite aos dispositivos da rede identificar a VLAN da qual o quadro pertence. Desta forma, é possível criar grupos lógicos ou redes virtuais entre IED's que se encontram conectados fisicamente numa mesma rede LAN.

4.12 Linguagem de Configuração de Subestações

A Norma CEI 61850, Parte 6 [23], define a utilização da Linguagem de Configuração de Subestações universal, a SCL (do inglês: *Substation Configuration Language*). A SCL visa fundamentalmente padronizar as informações relativas aos diferentes IED's. É uma das grandes mais-valias introduzidas por este padrão de comunicação e um grande avanço para que se concretize a interoperabilidade, tanto a nível de componentes como de ferramentas de configuração. A SCL é uma linguagem de alto nível baseada na programação em XML (do inglês: *eXtensible Markup Language*) Orientada a Objetos. A sua utilização permite obter uma uniformização dos métodos de configuração da SE e da nomenclatura utilizada através de um modelo único de descrição de dados, criando um vocabulário comum, aumentando a segurança e confiabilidade. A SCL permite descrever o esquema unifilar da SE, a rede de comunicações, as instâncias dos LN's e a sua associação aos equipamentos da SE.

A Norma CEI 61850 explicita a utilização de regras de formatação dos arquivos, e da criação de estruturas bem definidas. Só assim é possível garantir com maior fiabilidade a troca de descrições das funcionalidades dos IED's e da descrição do SAS. Com isto é possível executar uma comunicação bidirecional entre as ferramentas de configuração de IED's e as ferramentas de configuração de sistema. Esta comunicação garante a interoperabilidade entre várias ferramentas de engenharia de diferentes fabricantes, permitindo uma configuração da SE com independência dos IED's e das suas ferramentas específicas.

A linguagem SCL é composta por diversos arquivos que contém os dados sobre as diversas funções do SAS. As informações sobre configuração e características da rede de comunicação formam o arquivo que representa e descreve todo o sistema, como o diagrama unifilar, as funções alocadas ao diagrama e dados que eventualmente serão suportados por esta descrição, ao qual se atribuí o nome de SSD, do inglês: *System Specificacion Description*.

O fabricante de cada IED fornece, juntamente com cada dispositivo, um arquivo que contém as suas características e funcionalidades, que toma o nome de ICD, do inglês: *IED Capability Description* [23]. Depois de configurados para um projeto específico, os arquivos ICD de cada IED torna-se o arquivo CID, do inglês: *Configured IED Description*, incluindo todas as configurações para a publicação e subscrição de mensagens GOOSE e informação específica de configuração do IED, incluindo o endereço do IED e informação dos LN's.

Os arquivos ICD de todos os IED's devidamente configurados para o trabalho de engenharia designado, ou simplesmente os arquivos CID, juntamente com o arquivo SSD compõem o arquivo SCD, do inglês: *Substation Configuration Description* [23]. O arquivo SCD deve ser guardado para consulta dos responsáveis pela manutenção de futuras expansões, pois é este arquivo que contém, digitalmente, os diagramas esquemáticos e a lógica de uma SE [20]. De forma resumida são apresentados, na Tabela 4.3, os diferentes tipos de arquivos SCL de um SAS.

Tabela 4.3 – Arquivos descritos em SCL.

Tipo de ficheiro (extensão)	Conteúdo
ICD – *IED Capability Description*	Descrição XML das capacidades e pré-configurações dos IED's tal como produzido pelo fabricante.
SSD – *System Specification Description*	Descrição XML dos dados de toda a SE, como esquema unifilar e LN's necessários. Ponto de partida para gerar o ficheiro SCD.
SCD – *Substation Configuration Description*	Contém todos os ICD's dos IED's da SE, uma secção com a configuração completa da SE, incluindo a rede de comunicação e informação sobre o fluxo de dados.
CID – *Configured IED Description*	Descreve em XML as funções parametrizadas de um IED específico da SE.

Os pontos que a seguir se apresentam são exemplos de modelos descritos por esta linguagem, SCL:

- Estrutura do sistema de potência primário: descreve a forma como os equipamentos estão conectados e quais as funções que serão utilizadas;
- Sistema de comunicações: como os IED's serão conectados nas redes e nas sub-redes e quais os pontos de acesso de comunicação;
- O nível de aplicação das comunicações: como os dados serão agrupados para serem enviados, como os IED's disparam o envio dos dados e quais os serviços escolhidos;
- A configuração de cada LD, os LN's com as suas classes e tipos pertencentes a cada LD;
- As definições de tipo para cada instância de LN;
- O relacionamento entre cada instância de LN com o IED hospedeiro.

A Figura 4.12 descreve o método básico de interação entre os diferentes ficheiros SCL e as ferramentas de engenharia de configuração do sistema e dos IED's de cada fabricante, tal como descrito acima.

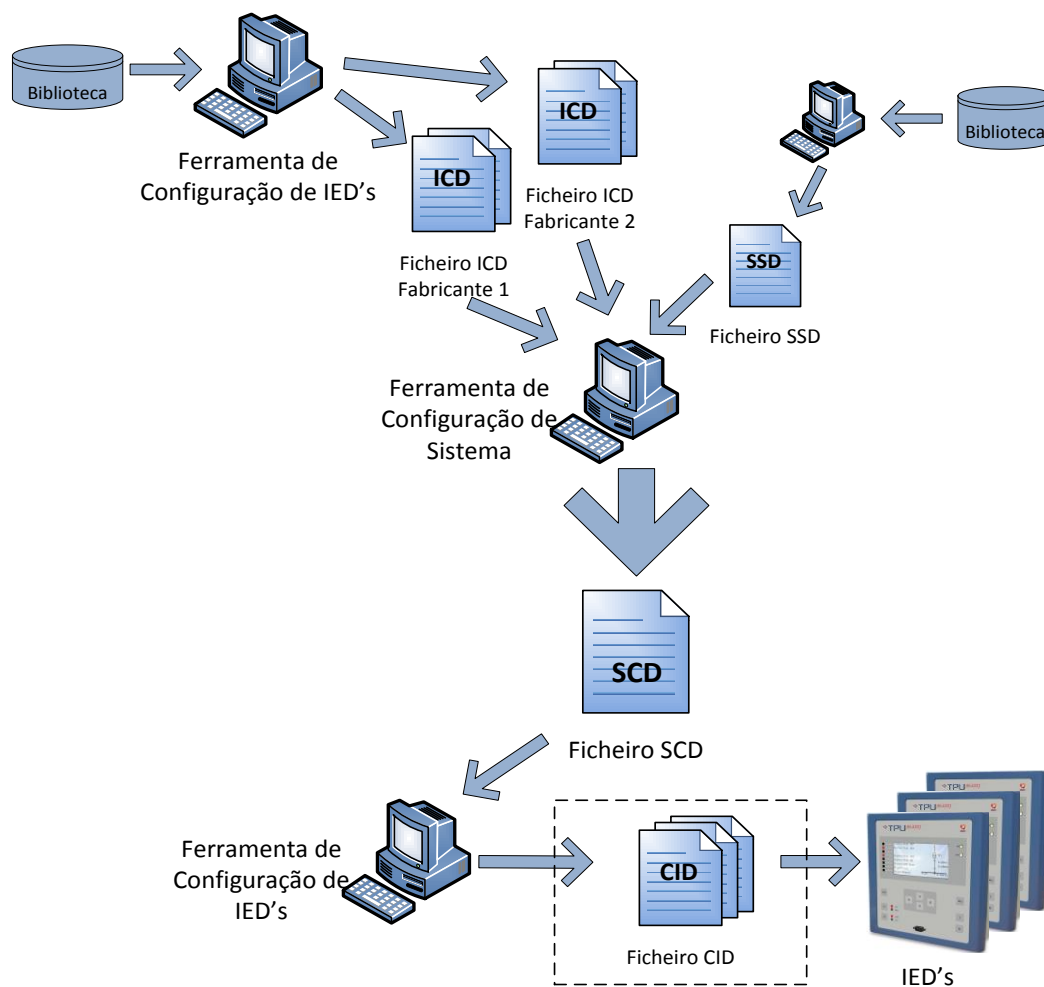



Figura 4.12 - Ligações dos ficheiros SCL entre ferramentas de engenharia.

4.13 Control Block's

A CEI 61850 define um grande grupo de blocos funcionais ao qual chama *Control Block's* (CB's). Englobado neste grande grupo encontram-se o SGCB e RCB, definidos nos seguintes pontos.

4.13.1 *Setting Group Control Block* (SGCB)

O SGCB implementa uma funcionalidade utilizada nos relés digitais multifuncionais que consiste na existência de vários cenários de parametrização para uma mesma função de proteção.

4.13.2 *Report Control Block* (RCB)

É através da parametrização do RCB que se torna possível configurar a Comunicação Vertical, sendo que é a partir desta funcionalidade que o operador de sistema consegue configurar previamente quais os atributos da SE a que deseja ter acesso sob a forma de um relatório. Contudo, existe uma relação entre os dois níveis de comunicação, dado que é através da Comunicação Vertical que é possível a configuração da Comunicação Horizontal.

4.14 Barramento de Processo

O barramento de processo da SE, do inglês: *Process Bus*, definido pela edição dois da Norma CEI 61850, Parte 9-2 [30], é outra das grandes implementações desta Norma. O intuito deste barramento está relacionado com a recolha de informação analógica dos transformadores de medida, como os Transformadores de Tensão (TT's) e Corrente (TC's), e outros transdutores ligados aos equipamentos primários de alta tensão da SE. A recolha de informação passa a ser realizada pelas Unidades de Campo (MU, do inglês: *Merging Units*) as quais, depois de converterem a informação para formato digital, a conduzem para os IED's, na forma de Valores Amostrados (SV, do inglês: *Sample Values*). A MU recolhe os valores com uma taxa de amostragem sincronizada, podendo desta forma cada IED receber informação proveniente de várias MU's, procedendo ao seu processamento e organização de forma automática. A informação é recolhida das MU's através de uma rede redundante de 100 *Mbits* em fibra ótica, onde é utilizado o protocolo de comunicação e*thernet*.

De forma simples, para uma melhor compreensão dos SV, pode definir-se como sendo o deslocamento físico do conversor A/D, atualmente localizado na entrada do IED, para o parque da SE, junto aos equipamentos de Alta Tensão. É assim possível trazer já o sinal digitalizado via rede *ethernet*, distribuindo-o aos IED's instalados na sala de comando [31].

Com o emprego do barramento de processo, já não se trabalha mais com potência/energia do secundário dos TT's e TC's, mas somente com informações na forma digital. Isto acarreta uma grande economia e simplicidade de fiação, visto que as informações transmitidas são através de um único cabo de fibra ótica, podendo este carregar todos os sinais de tensão e corrente. Estima-se, com isto, uma economia financeira entre 25 a 50%, passando esta economia pelo investimento na instalação, comissionamento e manutenção, com material e mão-de-obra [31]. Uma desvantagem a salientar passa pela falta de um mecanismo de controlo de confirmação de chegada dos dados aos IED's (*feedback*). O extravio de um pacote de dados não mais será novamente enviado.

A implementação do barramento de processo tem como principal objetivo permitir que a comunicação entre os equipamentos primários da SE, instalados no parque exterior da instalação, os IED's e a UC passe a ser feita por intermédio de uma rede de comunicação de dados. A Figura 4.13 representa de forma global o barramento de processo e a sua configuração.

Refira-se que atualmente o barramento de processo não se encontra em utilização nas SE's de distribuição portuguesas, sendo algo recente. No entanto este tema está já contemplado na Norma CEI 61850, há alguns anos. Porém, ainda faltam no mercado opções de equipamentos adaptados a esta nova tecnologia, sendo o seu estudo e possível implementação um desafio atual e interessante.

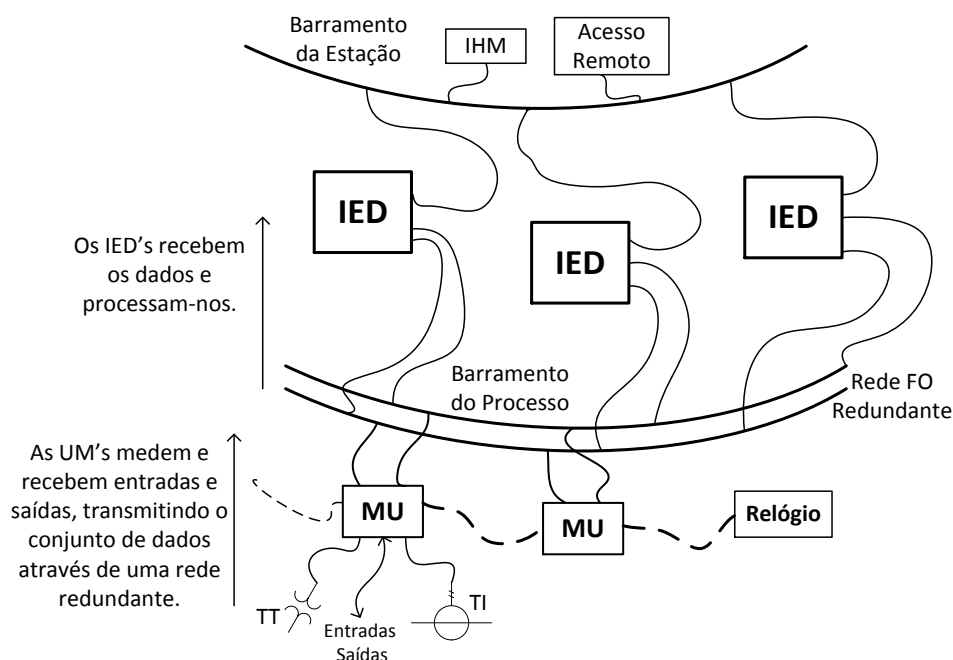



Figura 4.13 - Representação do barramento de processo [30].

4.15 Comentários Finais

A Norma CEI 61850 está num processo de aceitação mundial positivo, em contraste do que aconteceu com os diversos protocolos de comunicação anteriores. Em poucos anos os demais protocolos de comunicação serão substituídos pela CEI 61850, em vista dos seus muitos benefícios. As novas instalações que não considerarem o uso deste padrão estarão tecnologicamente ultrapassadas em relação ao futuro.

A aplicação da Norma CEI 61850 em campo é relativamente recente e ainda pouco difundida. Sendo talvez por esse motivo que as empresas-cliente são cautelosas na sua aquisição e implementação. Factos que podem ser justificados devido aos elevados investimentos iniciais em equipamentos, formação de pessoal, para além da preocupação de manter a continuidade e qualidade de serviço perante a ocorrência de erros.

No futuro, a Norma CEI 61850 será adotada pelos principais fabricantes dos equipamentos de proteção, comando e controlo. A sua aplicação pode, por um lado, diminuir o custo da sua aquisição devido à competitividade entre fabricantes, mas por outro pode aumentar o seu custo por tal equipamento ser capaz de desempenhar novas funções. Gradualmente serão substituídos os protocolos atualmente implementados, sendo cada vez mais encarado como um requisito fundamental para a construção de SE's das grandes empresas exploradoras das redes elétricas, como o caso da Operadora da Rede Nacional de Distribuição.

Capítulo 5

Ensaios de Comissionamento e Testes de Funcionamento em Subestações CEI 61850

Neste capítulo serão apresentados os diferentes tipos de ensaios a serem realizados com a introdução da Norma CEI 61850. O objetivo dos ensaios é verificar que uma determinada solução responde realmente aos requisitos impostos pela Norma CEI 61850. São identificadas as diferenças relativamente aos ensaios atualmente realizados pela Operadora da Rede, enunciados no Capítulo 3. É, desta forma, mostrado o impacto em termos de comissionamento e testes de funcionamento introduzido pela Norma CEI 61850. É ainda realizado um levantamento das ferramentas de ensaio necessárias para os testes segundo a Norma CEI 61850 e as suas configurações ajustadas para estas novas verificações.

5.1 Notas Introdutórias aos Ensaios da CEI 61850

A atual evolução dos Sistemas de Automação de Subestações (SAS) não acarreta apenas um grande desafio aos engenheiros projetistas que desenvolvem os novos sistemas. Tem sido também um grande desafio para as equipas de ensaios, tanto de comissionamento como de funcionamento e manutenção. Não mais se avalia apenas a função principal de um componente de uma Subestação de Energia Elétrica (SE), mas também as suas inúmeras funções auxiliares, como comando e controlo, e a sua capacidade de comunicação com os restantes equipamentos.

Com o desenvolvimento dos SAS segundo o novo paradigma de comunicação, definido pela Norma CEI 61850, novos ensaios e métodos de ensaio devem ser adotados. A função desses ensaios é verificar que um determinado sistema satisfaz todos os requisitos impostos pela Norma CEI 61850, nomeadamente no que respeita à interoperabilidade entre os diversos equipamentos que constituem o SAS. A execução de tais ensaios requer a utilização de ferramentas apropriadas, as quais devem estar preparadas para avaliar os componentes

individuais do SAS, bem como o desempenho da operação conjunta das diferentes funcionalidades do SAS. O uso da linguagem universal de Configuração de Subestações (SCL, do inglês: *Substation Configuration Language*), descrita na secção 4.12, conforme a CEI 61850, Parte 6 [23], permite o desenvolvimento de novas ferramentas computacionais e a adaptação de outras já existentes, facilitando e automatizando a realização dos ensaios. Mais do que saber as grandes vantagens, características e modos de funcionamento da Norma CEI 61850, é necessário mostrar e verificar os seus benefícios com a sua parte prática.

Com a elaboração do presente capítulo obtém-se resposta a várias questões, tais como:

- É necessário testar a aderência à Norma CEI 61850? Quando? Nos testes de campo, SAT, do inglês: *Site Acceptance Tests*, ou nos testes de fábrica, FAT, do inglês: *Factory Acceptance Tests*?
- As ferramentas de engenharia para configuração e teste necessitam ser alteradas?
- Existe independência dos fornecedores?

5.2 Testes de Garantia de Qualidade

A garantia de qualidade é uma tarefa comum do fabricante e do cliente do SAS, com diferentes áreas de responsabilidade, as quais são definidas no momento da aquisição. Para garantir a qualidade por parte do fabricante o sistema é submetido a um conjunto de etapas de verificação, com uma sequência bem definida, como mostrado na Figura 5.1, sendo da responsabilidade do fabricante a correta aplicação dos ensaios e a sua verificação [32].

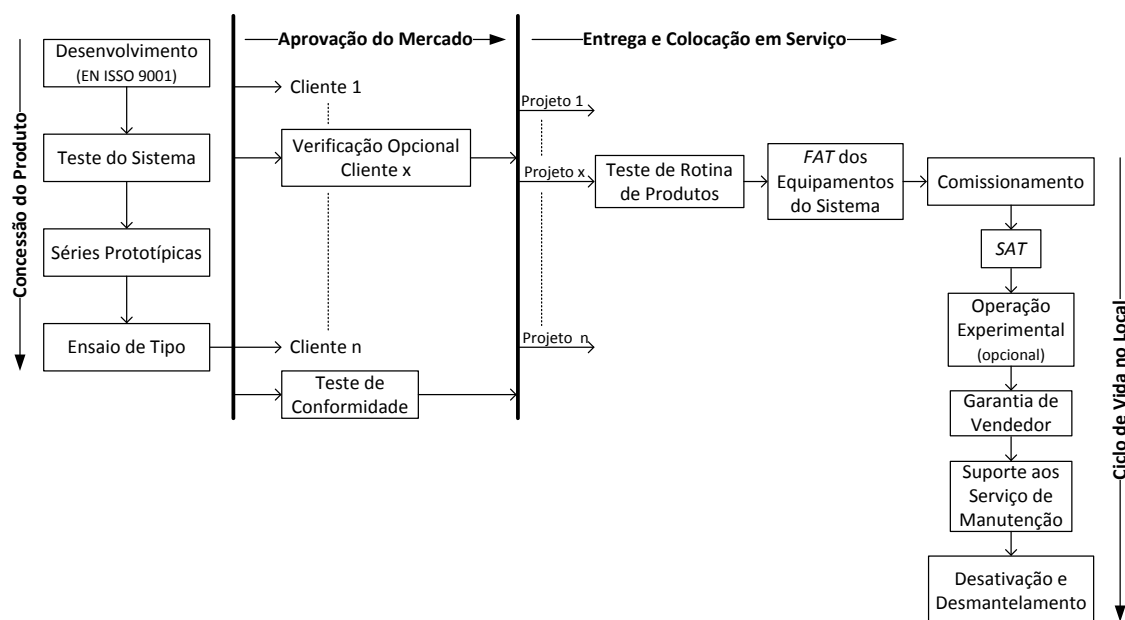



Figura 5.1 - Etapas para Garantia de Qualidade por parte do fabricante [32].

Por sua vez, o cliente é responsável por assegurar que as condições ambientais e operacionais relevantes ao SAS satisfazem as condições descritas na documentação técnica do

SAS e dos seus produtos individuais [32]. Tem ainda, o cliente, a responsabilidade de definir e planear as operações de manutenção preventivas para manutenção ou troca de equipamentos ou peças passíveis de manutenção, de acordo com as instruções do fabricante, em intervalos de tempo bem definidos. A cargo do cliente fica ainda a realização da manutenção corretiva, a qual deve ser realizada imediatamente após a ocorrência de avarias [32].

A CEI 61850 refere que para a garantia da qualidade são necessários equipamentos de teste adequados para os ensaios das diversas etapas. Estes equipamentos são requeridos para comprovar o comportamento e o desempenho das características do SAS de acordo com o especificado pela Norma CEI 61850.

5.2.1 Classificação dos Testes de Qualidade

Todos os testes devem ser realizados por equipas especializadas internas do fabricante com qualificação e capacidade suficiente para definir e documentar se um produto passou nos ensaios ou não. De acordo com a Figura 5.1, existem vários tipos de testes a efetuar por essas equipas, em que cada ensaio é especializado e focado para verificar determinados pontos do SAS bem definidos.

(i) Teste de Sistema

O teste de sistema é a prova do correto funcionamento e desempenho de cada Dispositivo Eletrónico Inteligente (IED, do inglês: *Intelligent Electronic Device*) sob diferentes condições de aplicação (diferentes parâmetros e configurações). É também a prova da correta cooperação com outros IED's da família de produtos de um SAS, incluindo todas as ferramentas, por exemplo, para parametrização [32]. Os testes de sistema passam pela verificação de vários pontos [32], tais como (i) função de cada IED com várias parametrizações; (ii) compatibilidade com outros IED's utilizando várias configurações e parametrizações; (iii) desempenho do IED individualmente e integrado no sistema. O término bem sucedido dos testes de sistema é um pré-requisito para iniciar os ensaios Tipo, seguindo a ordem da Figura 5.1.

(ii) Ensaios Tipo

Os ensaios Tipo são realizados a fim de demonstrarem as características satisfatórias tendo em conta as aplicações previstas. Apesar de serem especificados pela Norma CEI 61850 [32], este tipo de ensaio é já aplicado nos sistemas atuais, em que os ensaios a efetuar nesta fase foram já referidos anteriormente, na secção 3.2.1.

(iii) Ensaios Série ou de Rotina

De igual forma aos ensaios Tipo, os ensaios Série ou de Rotina foram já mencionados na secção 3.2.2, solicitando a Norma CEI 61850 a continuação da sua realização.

(iv) Testes de Conformidade

O objetivo dos testes de conformidade passa por assegurar que um determinado IED obedece aos requisitos de comunicação definidos por normas, neste caso a Norma CEI 61850. Os testes de conformidade passam também pela verificação da correta execução do seu modelo de dados, secção 4.6, e serviços, secção 4.8. Mais a frente, secção 5.3, os testes de conformidade serão descritos com vista a verificar o descrito pela Norma CEI 61850 Parte 10.

(v) Ensaios de Fábrica e de Campo

Os ensaios de fábrica, designados de FAT pela CEI 61850, são realizados em fábrica. Os FAT são realizados antes da instalação no local de implementação da SE e antes da colocação em serviço. São testadas e verificadas as diversas funcionalidades de um SPCC. Os ensaios FAT são a cargo do fabricante [32].

Os ensaios de campo, designados de SAT pela CEI 61850, apresentam a grande diferença em relação aos ensaios FAT por serem realizados no local de instalação do SPCC, ou seja na SE na qual irão funcionar [32].

Os FAT e SAT são necessários para a garantia de qualidade imposta pela Norma CEI 61850. No entanto estes foram já expostos na secção 3.3, verificando-se assim que atualmente estes ensaios já são aplicados [32], não querendo dizer que não sejam alargados para contemplar certos pontos referentes à Norma CEI 61850.

As imposições da Norma CEI 61850, na sua Parte 4 [32], relativamente aos ensaios de garantia de qualidade são uma parte fundamental no ciclo de vida dos SAS, sendo estas já aplicadas atualmente nos sistemas implementados pelas empresas exploradoras. Isto significa que apesar de um novo paradigma para a construção de SE's muitos são os aspetos que permanecem relativamente aos ensaios atuais. Contudo, a verificação da Norma CEI 61850 deve contemplar ensaios específicos, os quais nunca foram aplicados em sistemas anteriores. Os pontos que a seguir se discutem passam pela identificação desses mesmos ensaios.

5.3 Testes de Conformidade

A Norma CEI 61850, na sua Parte 10 [33], estabelece os requisitos e fornece uma orientação para os testes de conformidade a serem realizados num IED. O objetivo dos testes de conformidade passa por assegurar que um determinado IED, fabricado segundo a Norma CEI 61850, obedece aos requisitos de comunicação definidos pela mesma, como a correta execução do seu modelo e serviço de dados, conforme secções 4.6 e 4.8 respetivamente, e atender aos demais requisitos da Norma [34]. Os testes de conformidade pertencem aos ensaios Tipo, secção 3.2.1, os quais são da responsabilidade do fabricante do equipamento. Uma vez tratarem-se de uma verificação específica dos requisitos de comunicação, os testes de conformidade devem ser realizados e acreditados por uma organização independente, em laboratórios externos especializados, tal como o KEMA, devendo o certificado de

conformidade ser fornecido juntamente com o IED. Note-se que a Parte 10 da Norma CEI 61850 não especifica quais as Entidades de Conformidade, mas salienta-se que essas Entidades são qualificadas pela UCA *International Users Group* [34], tal como o laboratório KEMA, a qual define como testar o IED. As etapas dos testes de conformidade segundo a UCA são apresentadas na Figura 5.2.

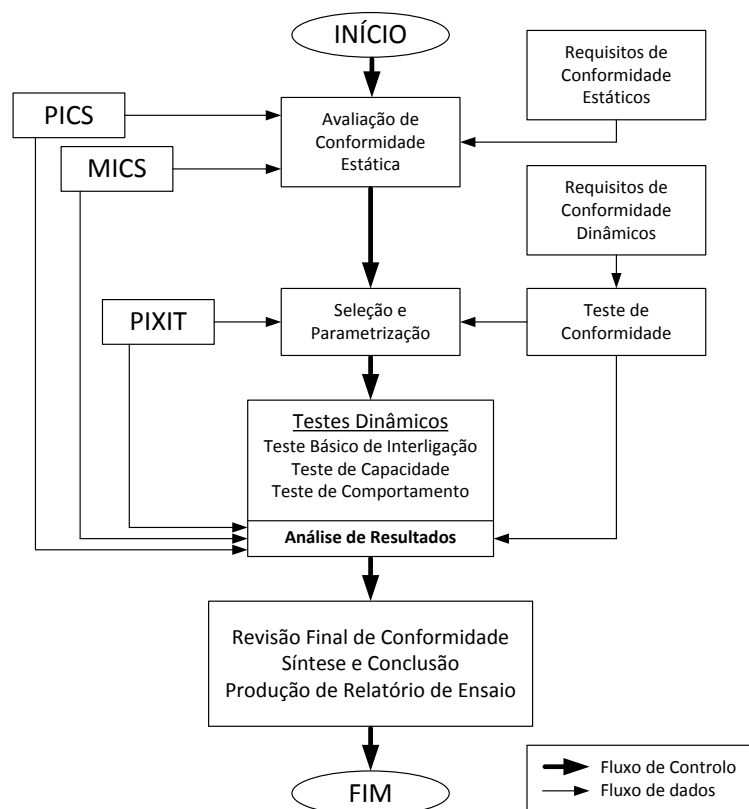



Figura 5.2 – Etapas dos testes de conformidade [33].

O primeiro passo é referente à inspeção da documentação que acompanha a apresentação da conformidade, a qual deve incluir documentos específicos, incluindo PICS, MICS e outras especificações, como PIXIT. De seguida são realizados os testes estáticos os quais contemplam a verificação da documentação que apresenta os recursos obrigatórios exigidos pela Norma CEI 61850 e especificados pelo fabricante. Por fim, são realizados os testes dinâmicos, os quais representam o real estímulo-resposta do dispositivo, sendo verificado que o dispositivo implementa corretamente todas as características reivindicadas na sua documentação. Especificamente, os testes de conformidade devem incluir as verificações a seguir [33]:

(i) Controlo de versão e documentação, conforme a CEI 61850 Parte 4;

(ii) Arquivo PICS, do inglês: *Protocol Implementation Conformance Statement*, que corresponde ao resumo das possibilidades de comunicação do IED ou SAS a ser testado;

(iii) Arquivo MICS, do inglês: *Model Implementation Conformance Statement*, que detalha o padrão dos elementos do objeto de dados suportado pelo IED ou SAS a ser testado;

(iv) Arquivo PIXIT (Anexo E), do inglês: *Protocol Implementation eXtra Information for Testing*, que contém informações específicas relativas ao IED ou SAS a ser testado e que estão fora do âmbito da Norma;

(v) Arquivo de configuração da SE, SCD, e dos IED's, ICD ou CID, em Linguagem Universal de Configuração de Subestações, SCL, conforme CEI 61850 Parte 6 e mostrado na secção 4.12;

(vi) Modelo de dados, fornecido pelo fabricante, conforme CEI 61850 Partes 7-3 e 7-4;

(vii) Mapeamento dos modelos e interface de serviços de comunicação abstrata (ACSI, do inglês: *Abstract Communication Service Interface*) fornecidos pelo fabricante, conforme CEI 61850 Partes 7-2, 8-1, 9-1 e 9-2.

Com a verificação de conformidade é melhorada a possibilidade para a interoperabilidade entre os dispositivos individuais integrados no SAS. Assim, é fornecido o máximo de confiança ao cliente de que o dispositivo sob teste interoperará com outros dispositivos certificados, não garantindo no entanto todas as funções e serviços definidos pela Norma CEI 61850, assim como também não substituí os ensaios FAT e SAT.

Para cada um dos pontos identificados a Norma CEI 61850 - Parte 10 [33], especifica qual o procedimento de teste e aquilo que deve ser verificado, atribuindo a cada ponto uma referência. Esta referência é utilizada para preenchimento de um documento que identifica e especifica o teste realizado. O documento tem um formato específico, como descrito na Figura 5.3. Este documento pode ser utilizado como um relatório de ensaio. No Anexo F é apresentado a título de exemplo um relatório de um ensaio. A lista de procedimentos de ensaios não será aqui apresentada por ser muito extensa, podendo ser encontrada em [33]. Pode ainda encontrar-se, em [35], um estudo prático de simulação realizado com o intuito de percorrer todos os pontos a testar segundo a Norma CEI 61850.

A edição 2 da Parte 10 da CEI 61850 incluí também as verificações a efetuar às ferramentas de configuração dos IED's de cada fabricante e às ferramentas de configuração do sistema. Estes testes são maioritariamente dedicados à verificação de leitura, importação e exportação dos ficheiros em SCL. O formato de teste é idêntico ao apresentado na Figura 5.3.

Ainda na Norma CEI 61850, Parte 10, é definido o critério de aprovação para cada teste, atribuindo a classificação de três veredictos possíveis, [33]:

(i) Aprovado (*Passed*): quando o dispositivo sob teste cumpre claramente o especificado, dentro do contexto do ensaio, e não são detetados resultados inválidos;

(ii) Reprovado (*Failed*): quando o dispositivo sob teste não cumpre pelo menos uma das especificações, dentro do contexto do ensaio, e há pelo menos um resultado inválido;

(iii) **Inconclusivo (*Inconclusive*)**: quando não é possível dar nenhum dos 2 veredictos anteriores, devendo determinar-se se a incerteza tem origem na Norma CEI 61850, na implementação ou nos procedimentos de testes utilizados.

Figura 5.3 - Formato do documento de teste de conformidade [33].

É recomendável realizar os testes de conformidade antes da integração do SAS no local. É assim possível descobrir atempadamente possíveis diferenças de interpretação e possíveis erros de *software*, bem como a exata funcionalidade da implementação do protocolo. Desta forma, o 'cliente' que adquire o SAS evitará comportamentos inesperados na fase operacional do sistema, poupando tempo e dinheiro nas fases de implementação e manutenção [36].

Os IED's submetidos a testes funcionais e de interoperabilidade, descritos nas secções 5.4 e 5.5, respetivamente, devem passar primeiramente pelos testes de conformidade e serem declarados conformes com a Norma CEI 61850 [34].

5.3.1 O Teste Prático de Conformidade [37]

O sistema de teste para a realização dos testes de conformidade é constituído por (i) um equipamento de teste, como a mala OMICRON, (ii) um sincronizador de tempo, (iii) um simulador de tráfego de informação na rede e (iv) um analisador de protocolos. Estes componentes de *hardware* e *software*, juntamente com o equipamento em ensaio são ligados a uma Rede Local de Comunicação (RLC) *ethernet*, designada LAN, do inglês: *Local Area Network*, isolada, conforme ilustrado na Figura 5.4.

Antes do início do teste é necessário efetuar os ajustes e a parametrização do dispositivo sob teste (IED) e a configuração da RLC segundo a CEI 61850, nomeadamente para as mensagens GOOSE ou GSSE. A ferramenta de configuração deve ser capaz de funcionar em SCL. Os fabricantes utilizam o próprio *software* de ajuste e parametrização do IED para realizar a sua configuração [36], não sendo estes *softwares* utilizáveis para configurar IED's

de diferentes fabricantes. Este facto é considerado como uma barreira encontrada para o operador do sistema, pois deve possuir o conhecimento de diferentes ferramentas. No entanto, existem já ferramentas universais que aceitam qualquer tipo de configuração em SCL. O problema aqui surge quando o fabricante do IED não utiliza integralmente a SCL.

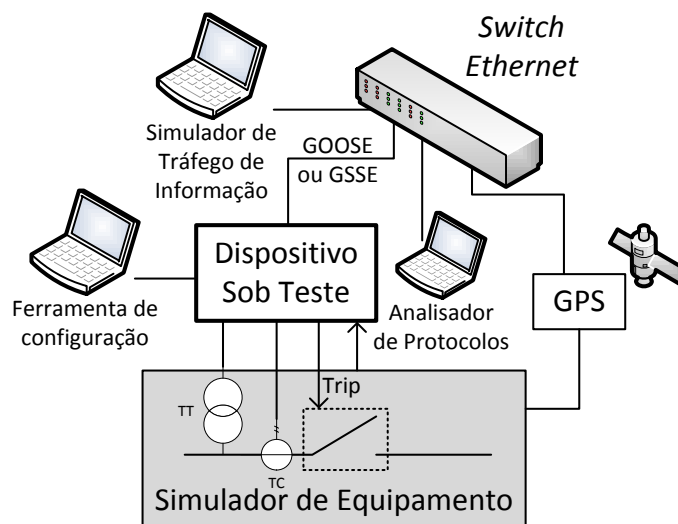



Figura 5.4 - Diagrama simplificado do sistema de teste de conformidade.

Um outro aspeto a referir relativamente ao simulador de equipamento, ilustrado na Figura 5.4, é que dependendo do modelo, ele pode ou não aceitar ligações *ethernet*, ou pode ser necessário a utilização atual de ligações fio-a-fio. Este pormenor é visível na secção 5.4, Figura 5.5, onde se verifica a grande economia de ligações fio-a-fio.

Com a realização deste esquema de ensaio as interfaces de comunicações são também testadas, sendo esta verificação necessária aquando da integração do componente no SAS.

5.3.2 Certificação KEMA

A certificação de dispositivos compatíveis com a Norma CEI 61850 através dos ensaios de conformidade é um avanço significativo para o ambiente no qual equipamentos de diferentes fabricantes trabalham em conjunto. Os testes de conformidade especificados na CEI 61850 podem ser efetuados pelo KEMA. O KEMA é um instituto de testes independente aprovado pela UCA *International users Group*. O processo de certificação envolve uma análise e verificação dos documentos dos fabricantes, confirmando que a implementação das funcionalidades nos dispositivos corresponde às estabelecidas na Norma CEI 61850, emitindo um certificado de conformidade dos dispositivos (Ver Anexo D).

5.4 Testes Funcionais

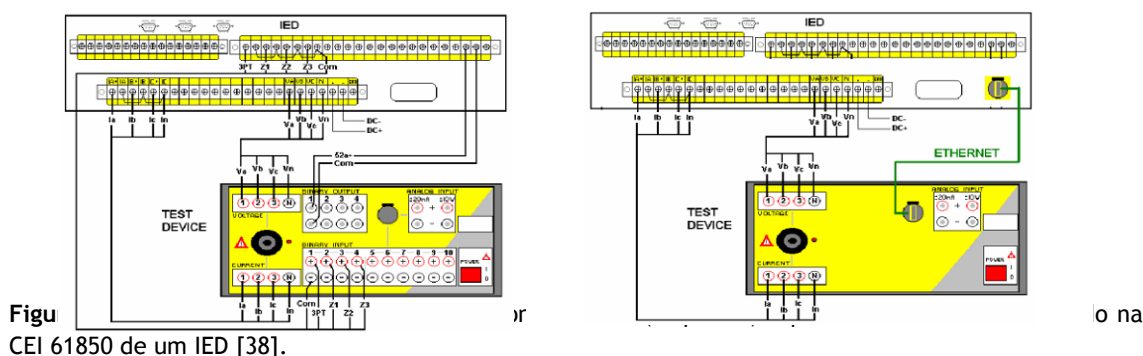
Os testes funcionais têm como objetivo determinar se o elemento testado apresenta o comportamento esperado sob diferentes condições de ensaio reais. Com eles pretende-se comprovar que as necessidades requeridas pelo usuário dos equipamentos, neste caso da

Operadora da Rede de Distribuição, estão satisfeitas. Os testes funcionais são necessários uma vez que a conformidade com a Norma CEI 61850 não implica em conformidade com as necessidades funcionais do usuário. As funcionalidades requeridas pela Operadora da Rede de Distribuição, referidas em [14] e na secção 3.3.2, são verificadas atualmente nos ensaios SAT, no Comissionamento, as quais continuarão a ser aí verificadas.

Para a realização dos testes funcionais é necessário dispor de um conjunto de teste adequado. Este deve ser capaz de simular condições correspondentes aos dados técnicos de operação do sistema sob teste, idêntico ao apresentado nos ensaios de conformidade, Figura 5.4 [36]. As ferramentas computacionais de teste, ou *softwares*, certificadas previamente na emissão de mensagens que sejam conformes com a Norma CEI 61850, devem incluir as seguintes características [36]:

- Implantação de todos os serviços e protocolos CEI 61850 para os quais o componente sob teste deverá ser verificado, além de extensões de testes especiais, tais como, a capacidade de enviar mensagens corrompidas, de forma intencional;
- Função de registo para reconhecer, armazenar e fazer *playback* de todas as respostas do equipamento sob teste;
- Capacidade de *script* para configurar uma execução automática da transmissão de mensagens de estimulação de teste e verificação das respostas. Os *scripts* devem incluir testes positivos (comportamento correto de mensagens e respetivas respostas) e testes negativos (comportamento não esperado causado por mensagens erradas);
- Capacidade de análise para mostrar os resultados corretos e os inesperados, facilitando a verificação de problemas ou respostas incorretas;
- Capacidade de simular, interpretar, enviar e receber mensagens GOOSE entre o equipamento de teste e o objeto sob teste.

É o conjunto de teste e a sua interligação que difere em relação aos ensaios funcionais convencionais, uma vez que as necessidades requeridas pelo usuário terão sempre que ser testadas, não sendo alteradas com a implementação da CEI 61850. Na Figura 5.5 é mostrada a configuração de teste para os ensaios funcionais convencionais e segundo a CEI 61850. A ligação do IED com o processo é nos dois casos similar, ou seja, através de ligações físicas, condutores, entre o objeto sob teste e o equipamento de teste. A diferença está na substituição dos condutores utilizados usualmente para uma única ligação de rede, utilizada para transferência de mensagens do protocolo, como sinais entre o IED e os disjuntores ou outros dispositivos [38].

Figu or o na CEI 61850 de um IED [38].

Referir que não é prático nem possível testar as variações de cada tipo de mensagem que poderia ser trocada com todos os demais IED's de um SAS para os serviços e objetos sob teste, uma vez que o número de possibilidades é muito grande e cresce exponencialmente com o número de IED's. O que é prático e pode ser realizado de forma realista, é estabelecer *scripts* de cenários de teste que possuam uma alta probabilidade de apresentar algum problema e que representem as condições mais desfavoráveis [36].

5.5 Testes de Interoperabilidade

Os testes de interoperabilidade são realizados depois dos testes de conformidade e dos testes funcionais. Os testes de conformidade não significam testes de interoperabilidade, pois não garantem a comunicação entre componentes de diferentes fabricantes como exposto na Norma CEI 61850. Os dois testes complementam-se, e devem ser realizados pela ordem indicada. Quando se refere a testes de interoperabilidade, refere-se à garantia de comunicação entre dois ou mais dispositivos, pelo que logo aqui se verifica a diferença em relação aos testes de conformidade, os quais recaem apenas num dispositivo.

A garantia da interoperabilidade não depende apenas de uma norma bem definida, mas também de uma aceitação do mercado, do desenvolvimento de novas ferramentas e a qualificação de engenheiros técnicos. A CEI 61850 define rigorosamente e padroniza os Nós Lógicos (LN, do inglês: *Logical Node*), secção 4.7, os dados e os atributos de dados, secção 4.6, necessários para a interoperabilidade, mas não define quais os ensaios a realizar para garantir a interoperabilidade, permanecendo a questão fundamental ao se migrar para a CEI 61850.

Um problema que surge quando se pretende garantir a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes é que estes não fornecem todas as particularidades necessárias. Por outro lado a adoção dessas particularidades por diferentes fabricantes causam a dificuldade de garantia de interoperabilidade. Como resultado, a interoperabilidade permanece uma questão, a qual tem dificultado a implementação de sistemas com vários fabricantes, não permitindo deste modo que as empresas-cliente possam tirar partido das vantagens da Norma CEI 61850. Os testes de interoperabilidade entre equipamentos de

diferentes fabricantes em laboratório são, nos tempos que correm, altamente recomendáveis para se ganhar confiança antes da integração dos mesmos na instalação.

O mercado de IED's e sistemas têm disponíveis modelos particulares, além dos definidos pela Norma CEI 61850, criando um problema de interoperabilidade, mesmo após a aprovação dos testes de conformidade. Vários fatores influenciam a interoperabilidade dos IED's, que causam os problemas, tal como as ambiguidades na interpretação da CEI 61850, diferentes interpretações, várias implementações, influência dos perfis e arquiteturas de comunicação adotadas pelos diferentes fabricantes.

A Norma CEI 61850 não define os Dispositivos Lógicos (LD, do inglês: *Logical Device*) deixando essa definição para os fabricantes e clientes finais. O que se tem verificado é que o mercado apresenta IED's com apenas um LD e outros apresentam vários LD's dentro do Dispositivo Físico (PD, do inglês: *Physical Device*). Um PD típico inclui (i) LD relacionado com a Proteção; (ii) LD relacionado com o Controlo; (iii) LD relacionado com a Medição; (iv) LD relacionado com o Registo. Estas diferentes aplicações da Norma CEI 61850 por parte dos fabricantes e clientes podem causar ambiguidades, tornando a tarefa de interoperabilidade mais complicada. Um exemplo disso são os arquivos ICD e CID, definidos na secção 4.12, utilizados pelas ferramentas de configuração de diferentes fabricantes, criando-se dois tipos de arquivos para a mesma informação, causando ambiguidades e dificuldades na utilização da ferramenta de configuração do sistema. A resolução desta ambiguidade passa pela alteração do nome da extensão do arquivo para permitir a sua entrada no configurador de sistema.

Para o teste de interoperabilidade devem ser conectados à RLC dois ou mais IED's, de diferentes fabricantes ou não, devendo ser geradas e transmitidas mensagens CEI 61850. Verifica-se assim a capacidade dos IED's exportarem informação para IED's e usar informação de outros IED's para realizar as suas funcionalidades corretamente. Com isto pretende-se detetar qualquer tipo de problema potencial de interoperabilidade entre os elementos funcionais e/ou subfunções que são integradas no IED ou no sistema sob teste ([34], [36]).

Para a realização dos ensaios, o equipamento de teste deve ser capaz de simular as mensagens. Na impossibilidade de tal simulação é possível optar por uma abordagem mais realista. Esta abordagem passa pela utilização dos próprios equipamentos do SAS para gerar as mensagens, desde que se disponha de um analisador compatível com a Norma CEI 61850, capaz de analisar as mensagens GOOSE e demais mensagens geradas pelos IED's. Isto torna-se uma mais valia para as equipas de ensaio que não possuem os equipamentos de teste capazes de gerar tais mensagens. Uma abordagem típica de um teste de interoperabilidade estruturado inclui, entre outros, o seguinte [36]:

- Teste de interoperabilidade da rede LAN *ethernet*. Esta pode ser dividida em varias redes virtuais (VLAN, do inglês: *Virtual Local Area Network*), para melhorar o desempenho. O teste consiste na verificação da distribuição das mensagens GOOSE restritas a uma VLAN e assim verificar a configuração dos *switches ethernet*;

- Teste de interoperabilidade do controlador da SE, Interface Homem-Máquina (IHM), incluindo relatórios dos conjuntos de dados (do inglês: *data sets*) configurados, envio de mensagens GOOSE (secção 4.11), controlo dos equipamentos de manobra da SE (com encravamento) e transferência dos arquivos de ocorrências, tal como oscilografia, relatórios de defeitos, registo sequencial de eventos, entre outros;
- Teste de interoperabilidade dispositivo a dispositivo. O teste consiste na verificação da receção das mensagens GOOSE (secção 4.11) enviadas durante o teste anterior de interoperabilidade;
- Teste de interoperabilidade de *gateway*. No Teste são verificadas variações entre os pontos de dados e de controlo expostos via CEI 61850 e a interface de comunicação CEI 60870-5-104 ou 101 (ou outro protocolo utilizado para comunicação com o Centro de Comando e Controlo);
- Teste de interoperabilidade das funções de Unidade de Painel (IED's), nível 1. São verificadas neste teste as funções de proteção de cada tipo de Unidade de Painel;
- Teste de interoperabilidade de funções entre Unidades de Painel. O teste verifica a correta atuação das funções distribuídas de proteção e automação, como falha de disjuntor, proteção de barras e encravamento;
- Teste de interoperabilidade das funções entre os níveis de Unidade de Painel e de Processo (SE). Neste teste verificam-se as funções de supervisão e controlo.

Qualquer que seja o teste a realizar, deve começar-se pela montagem e configuração dos equipamentos da rede, incluindo os *switches*, *routers*, *gateways* e demais equipamentos associados, conforme mostrado no exemplo da Figura 5.6. Deve configurar-se as bases de dados da IHM e demais equipamentos no nível estação e iniciar os testes de comunicação [36]. Diante da grande complexidade representada por um SAS com funções distribuídas, sugere-se começar pelas situações mais simples e ir aumentando, pouco a pouco, o grau de complexidade. Como exemplo, pode simular-se um defeito que envolva dois ou mais IED's de proteção ou controlo e analisar as mensagens trocadas por estes IED's, incluindo as mensagens verticais para a IHM (*status*, alarmes e comandos) e as mensagens horizontais (GOOSE ou GSSE). Cada uma das funções distribuídas deve ser testada, simulando-se as diversas situações que possam ocorrer.

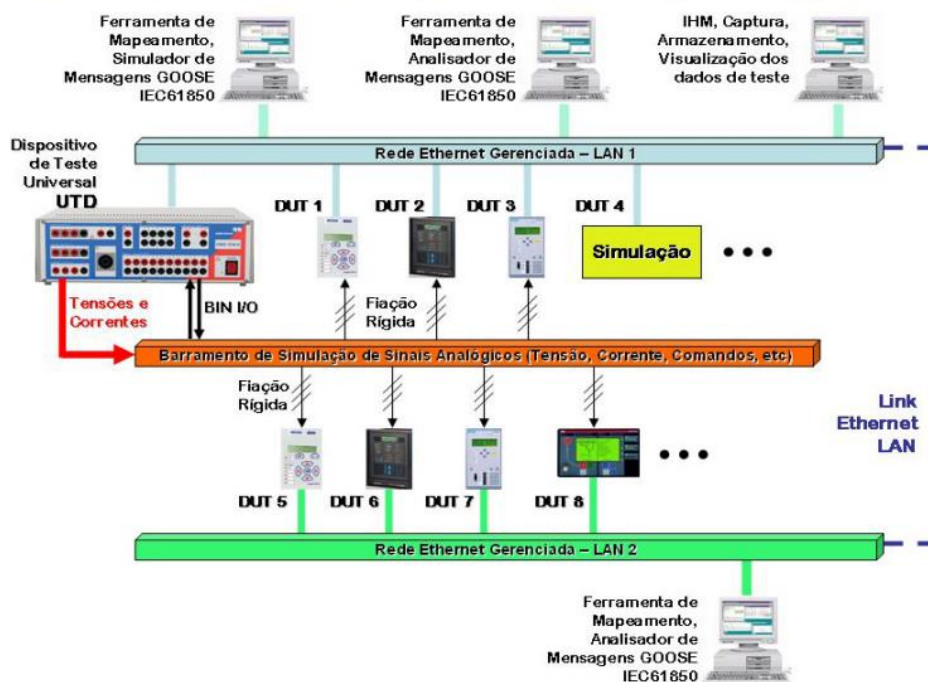



Figura 5.6 – Sistema para teste de Interoperabilidade de vários IED's [36].

Os IED's futuros, ou aqueles que não estiverem disponíveis por ocasião do teste, podem ser simulados por uma ferramenta computacional adequada [36]. A função de oscilografia dos IED's de proteção deve ser tornada operacional logo no início dos testes pois poderá ser um elemento de auxílio na análise do tempo de operação de cada unidade dos relés.

Um conjunto de IED's interligados a uma rede LAN, juntamente com um simulador de mensagens GOOSE, analisador de protocolo, IHM, armazenamento, captura e visualização dos dados de teste, além de uma fonte de controlo e geradora dos sinais analógicos, constituem o sistema de teste de interoperabilidade. O equipamento de GPS, do inglês: *Global Position System*, embora não mostrado, também faz parte do conjunto [36].

Mesmo considerando que todos os IED's que compõem um SAS foram aprovados nos testes de conformidade, da responsabilidade do fabricante, poderão ocorrer diferenças entre IED's que irão dificultar os testes de interoperabilidade. Lembrar que a realização dos testes funcionais e de interoperabilidade no ambiente controlado de um laboratório é muito superior à procura de defeitos e a sua correção no campo. No laboratório, os testes são feitos passo a passo e dispõe-se de ferramentas computacionais de análise que facilitam a identificação de problemas. No campo, poderão aparecer defeitos simultâneos, que irão dificultar muito a sua localização e reparação, podendo prolongar de forma não controlada o prazo de realização dos testes de campo [36].

5.5.1 Tipos de Testes de Interoperabilidade [37]

Os testes de interoperabilidade, com base no seu objetivo, são classificados como testes de interoperabilidade de 'Prova de Conceito' e em testes de aceitação no local da instalação,

designados de SAT, definidos na secção 3.3.2. Com base nos fabricantes, os testes de interoperabilidade, são classificados em dois diferentes tipos, que dependem dos componentes que compõem o sistema a testar, se de um único ou de vários fabricantes.

O perfil de comunicação ponto-a-ponto é uma característica única do SAS baseados na CEI 61850. Este tipo de comunicação permite a implementação da interoperabilidade entre dispositivos localizados no nível hierárquico nos IED's, nível 1, bem como entre dispositivos localizados em diferentes níveis hierárquicos, como a comunicação cliente-servidor entre o nível 1 e o nível de estação. Assim, uma outra classificação dos testes de interoperabilidade surge, baseada nos perfis de comunicação, ponto-a-ponto e cliente-servidor.

(i) Testes de Interoperabilidade de 'Prova do Conceito' [37]

Os testes de interoperabilidade de 'Prova do Conceito', do inglês: *Proof-of-the-concept*, têm a função de verificar as interfaces de comunicação associadas aos IED's em teste. O teste é realizado geralmente em laboratório para verificar se os IED's são capazes de comunicar uns com os outros. As ligações entre os IED's são simplificadas para diminuir a complexidade do teste e as funções relacionadas com a interoperabilidade normalmente não são testadas.

(ii) Testes de Interoperabilidade de Aceitação na Instalação [37]

Os testes de interoperabilidade de aceitação no local da Instalação, ensaios SAT, têm como tarefa a verificação, ponto-a-ponto, das comunicações sobre a rede LAN da SE, sendo verificadas todas as conexões virtuais. O teste tem uma importância vital para verificar se todas as conexões lógicas virtuais associadas a uma função distribuída estão conforme o projetado. Para a realização dos ensaios SAT é necessário um conjunto de teste dedicado à simulação das condições da SE, nomeadamente para gerar os sinais de corrente e tensão analógicos ou digitais desejados para iniciar o teste. Uma outra ferramenta necessária é um *software* capaz de analisar toda a informação que transita na rede LAN.

Uma vez que os testes de interoperabilidade requerem verificar a comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes, os testes em laboratório devem ser realizados na entidade requerente, como a Operadora da Rede, uma vez que no laboratório dos fabricantes dificilmente se terão equipamentos de outros fabricantes. O mais realista será mesmo a realização dos testes no local, permitindo assegurar o trânsito de informação (dados) na rede LAN *ethernet* de fibra ótica, tal como definido.

(iii) Testes de Interoperabilidade Multi-Dispositivo de um Único Fabricante [37]

Todos os dispositivos que compõem o sistema sob teste são do mesmo fabricante, onde todos os IED's do sistema estão conforme a Norma CEI 61850 relativamente aos testes de conformidade e ensaios de fábrica, FAT, definidos na secção 3.3.1. Normalmente, apenas a ferramenta de configuração dos IED's proprietária do fabricante é necessária para a

configuração do sistema, não sendo assim necessário a interação entre ferramentas de diferentes fabricantes.

(iv) Testes de Interoperabilidade Multi-Dispositivo de Vários Fabricantes [37]

O sistema sob teste é constituído por dispositivos fabricados por diferentes entidades, em diferentes plataformas. Antes do teste de verificação da interoperabilidade entre os diferentes componentes deve ser garantido que os mesmos passaram nos testes de conformidade da CEI 61850. São necessárias, neste caso, ferramentas de configuração de IED's proprietárias dos vários fabricantes dos diferentes componentes do SAS, bem como uma ferramenta de configuração de sistema, para principalmente configurar as comunicações.

(v) Testes de Interoperabilidade baseados no perfil Ponto-a-Ponto [37]

O teste de interoperabilidade baseado no perfil de comunicação ponto-a-ponto verifica as conexões lógicas virtuais entre dois ou mais dispositivos da SE ligados através da rede LAN. Qualquer um desses dispositivos do sistema pode dar início ao teste através do envio de informação para a rede LAN via *multicast*. De seguida, as outras partes envolvidas recebem essa mesma informação, capturada da rede LAN, utilizando-a conforme for necessário. Para a realização do teste pode ser necessária a injeção secundária de corrente e tensão para causar a atuação do equipamento e o envio de informação aos restantes equipamentos.

(vi) Testes de Interoperabilidade baseados no perfil Cliente-Servidor [37]

O perfil de comunicação cliente-servidor é um perfil orientado à conexão. Aquando da ocorrência de um acontecimento, o servidor envia uma mensagem para o cliente. Esta ordem de comunicação é sempre verificada, ou seja, o servidor inicia sempre a conversão de informação com o cliente. Os testes de interoperabilidade entre cliente-servidor tem como missão verificar a correta transferência entre dois níveis hierárquicos do SAS, uma vez que os servidores são geralmente os IED's, localizados no nível hierárquico um do SAS, enquanto o cliente é o nível de estação, localizado no nível hierárquico dois do SAS.

5.6 Testes de Desempenho do Sistema

Os testes de desempenho do sistema têm como grande objetivo testar e registar o desempenho de todo o sistema sob o ponto de vista de um observador externo, considerando que cada elemento funcional está em correta operação [34]. De outra forma, os testes de desempenho de um SAS destinam-se a verificar se o tempo de atuação de cada função se mantém dentro dos limites especificados, mesmo quando a RLC é submetida a condições críticas de tráfego de mensagens ou ruído, e quando os dispositivos físicos e equipamentos dessa mesma RLC são de diferentes fabricantes. São também testados os tempos máximos que cada mensagem (especialmente as mensagens GOOSE) leva desde a sua geração, num IED emissor, até que seja recebida pelos IED's subscritores – Tempo de Transferência - que irão

utilizar a informação [36], tal como mostrado na Figura 5.7. O tempo de transferência é dividido em três intervalos de tempo. Os intervalos referentes ao tempo de processamento das mensagens pelo IED emissor e subscritor, T_a e T_c, respetivamente. O tempo referente à entrega das mensagens pela rede, T_b, o qual envolve todos os componentes do meio físico, como *switches* e cabos de ligação, que introduzem atrasos na comunicação [33].

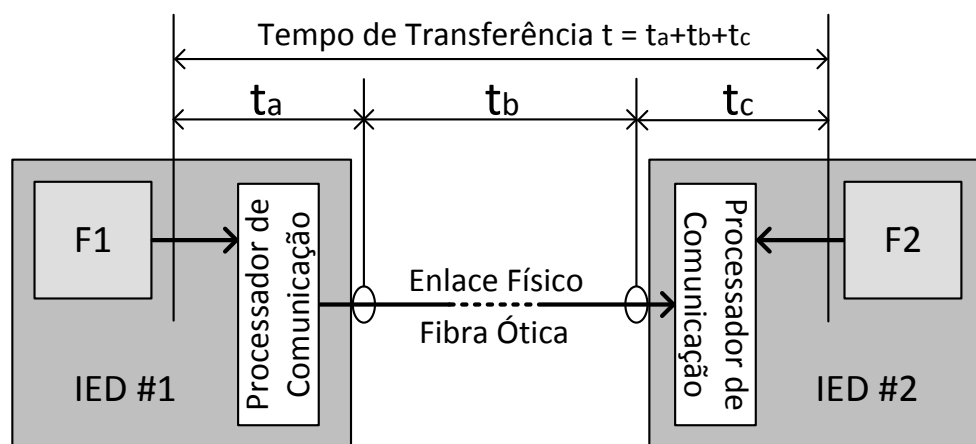



Figura 5.7 - Tempos de transferência de mensagens [39].

Os testes de desempenho devem ser verificados no local da instalação quando o sistema estiver completamente configurado. Só assim se obtém os verdadeiros resultados de transferência de dados assim como também se pode verificar as interações entre os equipamentos de diferentes fabricantes existentes. De modo a serem representadas as situações mais desfavoráveis ou de maior *stress* na rede deve considerar-se a simulação de defeitos que evoluam para incluir múltiplas zonas de proteção na SE, juntamente com falhas de disjuntor. O teste deve mostrar se a LAN opera corretamente durante as 'avalanches' de mensagens GOOSE nesta situação, com todas as funções e interações dos IED's [36].

A Norma CEI 61850, Parte 10 [33], requer o teste de tempos de transferência de acordo com os requisitos especificados na Parte 5 da Norma CEI 61850. Os tempos de transferência estão identificadas na secção 4.10, de acordo com a CEI 61850, Parte 5 [21], tendo em conta os tempos especificados para cada mensagem. Na Partes 10 da CEI 61850 descreve-se também a metodologia para verificação da sincronização de tempo utilizando os serviços SNTP[3] ou IRIG-B[4] especificados na CEI 61850, se suportados nos dispositivos sob teste [36]. A CEI 61850 recomenda a execução dos testes e verificações do tempo de transferência durante os ensaios de aceitação do SAS na instalação onde irá funcionar, e portanto inserem-se nos já referidos ensaios SAT, definidos na secção 3.3.2. Com a realização dos testes de desempenho é

[3] O serviço SNTP, do inglês *Simple Network Time Protocol*, é usado para sincronizar o relógio de um conjunto de equipamentos eletrónicos, como computadores, numa rede de dados.
[4] O serviço IRIG-B, do inglês *Inter-Range Instrumentation Group*, é utilizado por empresas de energia elétrica, industriais, e outros para garantir a sincronização dos dispositivos do sistema de energia, como disjuntores, relés e medidores.

garantido que o IED suporta as características descritas no seu arquivo SCL. No entanto, para o funcionamento correto do IED, é necessário garantir algumas características que não estão inclusas na Parte 10 da Norma CEI 61850. Algumas dessas características são [22]:

- Sincronização de tempo e precisão do selo de tempo (aquisição do tempo);
- Controlo do tempo de reação;
- Critérios operacionais e de confiabilidade.

5.6.1 Sincronização de tempo e precisão do selo de tempo

A sincronização de tempo é utilizada para a sincronização dos valores de relógio do IED quando nenhuma fonte de tempo externa está disponível para o equipamento. Durante a sincronização através da rede LAN da SE, um IED, com uma precisão de tempo fonte atua como o 'mestre' do tempo. Um segundo IED do mesmo tipo pode ser definido para agir como um 'mestre' do tempo de *backup*. A fonte de tempo do 'mestre' do tempo do IED é normalmente fornecida por uma fonte externa, como o GPS.

A precisão do selo de tempo documenta a capacidade do IED de comunicar informações de tempo de um evento. Um selo de tempo preciso necessita de diversas funções distintas como o relógio interno do IED e tempo de deteção de mudança de estado. No entanto, para o usuário final o importante é quão preciso é o selo de tempo do dado gravado de um evento com relação ao tempo atual do mesmo evento [22].

5.6.2 Controlo de tempo de reação

A função de controlo de tempo de reação pretende verificar a velocidade que cada IED é capaz de reagir a uma mensagem GSE ou a uma mensagem de controlo de comando. Deve identificar-se o tempo decorrido entre o instante de chegada da mensagem e a mudança de estado do IED [22].

5.6.3 Critérios operacionais e de confiabilidade

É uma medida de desempenho que documenta a confiabilidade e as características de operação do dispositivo. O sistema necessita de confiabilidade e informações operacionais como monitorização, proteção, controlo e dispositivos de comunicação. Usando estas medidas de desempenho, projetistas podem escolher dispositivos apropriados para satisfazer os requisitos do sistema [22].

5.7 Dispositivo de Teste Universal

A utilização de IED's baseados na Norma CEI 61850 requer o emprego de novos dispositivos e novas metodologias de ensaio. Um dispositivo de teste deve permitir um ensaio apropriado,

adequado às exigências do sistema de proteção e comunicação a ser testado, simulando as características do SAS [34]. Para tal, deve possuir, entre outras, as seguintes funções:

- Simulação de sinais analógicos de corrente e tensão aos IED's testados, permitindo simular sinais de defeito em regime permanente ou transitório;
- Simulação de Valores Amostrados (SV, do inglês: *Sample Values*) na rede de acordo com a Norma IEC 61850, Parte 9-2;
- Simulação dos sinais digitais que representam as mudanças do estado do disjuntor e os sinais de controlo remoto, tais como saídas tradicionais para os IED's;
- Simulação de mensagens GSSE/GOOSE a fim de verificar a operação de outros IED's conectados à rede LAN da SE;
- Análise de mensagens GSSE/GOOSE que monitorizam e registam o tempo das mensagens recebidas provenientes dos IED's em teste a fim de avaliar o desempenho/resposta dos relés;
- Simulação da rede, com ferramentas de configuração que permitam ao utilizador configurar o equipamento de teste para os requisitos dos IED's testados e enviar mensagens GSSE/GOOSE simuladas para múltiplos IED's incluídos no sistema de proteção, operando com comunicações de alta velocidade ponto-a-ponto distribuídas;
- Simulação do processo, com ferramenta de teste que permita a configuração flexível das sequências de teste solicitadas e simulações que utilizam as funções acima, com inserção das correntes e tensões correspondentes a estados de pré-falta, falta e pós-falta, em regime permanente ou transitório;
- Contadores de tempo e registadores de eventos;
- Ferramenta de teste com modelos de carga, modelos de configuração e modelos de rede, capazes de comparar e avaliar os dados de modelo com os resultados dos testes.

Todas estas funções fazem parte de equipamentos de ensaio dos mais sofisticados do mercado. Contudo, as empresas querem tornar os seus equipamentos de ensaio atuais aptos a testar os SAS em CEI 61850 e não adquirirem novos equipamentos de ensaio de custo muito elevado. É para tal interessante e útil adotarem-se regras e métodos de ensaio que permitam de uma forma económica e funcional utilizarem os mesmos equipamentos de ensaio. Nos pontos que a seguir se apresentam são identificadas as novas tecnologias de *software* e *hardware* para testes em CEI 61850.

5.8 Ferramentas OMICRON® para testes da Norma CEI 61850 [18]

A OMICRON fornece as ferramentas de teste aos engenheiros de proteções, como mostrado na secção 3.6.1. As ferramentas OMICRON dedicadas ao protocolo CEI 61850 permitem a subscrição e simulação de mensagens GOOSE em tempo real e a publicação de SV

na rede LAN *Ethernet*. Para testes de proteções que utilizam o protocolo CEI 61850, GOOSE e SV, existem funções específicas que permitem a interligação dos equipamentos de teste OMICRON à rede de comunicação da SE. Salientar que nem todos os modelos do equipamento CMC da OMICRON possuem a capacidade de realização destes tipos de ensaios, estando disponível para os equipamentos com as seguintes referências: CMC 850 (dedicado à Norma CEI 61850), CMC 356, CMC 353, CMC 256*Plus* e CMC 256-6 com a opção NET-1. Segundo estes modelos constata-se que o Departamento da Entidade Exploradora da Rede Nacional de Distribuição dedicado aos ensaios das SE's de Distribuição AT/MT não é detentor de nenhum destes equipamentos, sendo portanto, um ponto de interesse deste estudo verificar a atual necessidade de uma possível aquisição deste equipamento e quais as suas mais valias para o bom funcionamento da empresa e principalmente das instalações, identificando-se os possíveis ensaios a realizar com tais equipamentos. Nos pontos seguintes são apresentadas as diferentes ferramentas de teste dedicadas à Norma CEI 61850 segundo a OMICRON, dedicadas para os equipamentos referidos anteriormente.

5.8.1 IEDScout [40]

O *IEDScout* é uma ferramenta de *software* para os engenheiros de proteções, que trabalham com dispositivos compatíveis com a Norma CEI 61850. A ferramenta é capaz de fornecer inúmeras funções úteis, necessárias nas SE's ou em laboratórios, e introduzir novas opções para aumentar a profundidade e qualidade dos ensaios. Com o *IEDScout* os modelos de dados e configurações dos dispositivos compatíveis com a Norma CEI 61850 podem ser estudados e avaliados. O uso de informação de configuração no formato SCL normalizado é suportado por toda ferramenta. Esta ferramenta serve para muitas aplicações em dispositivos segundo CEI 61850, entre as quais (i) Testes; (ii) Resolução de problemas; (iii) Comissionamento; (iv) Desenvolvimento e programação de IED's. Nos pontos que se seguem são apresentados os principais benefícios fornecidos pelo *IEDScout*:

- Fornece acesso aos IED's compatíveis com a CEI 61850 de qualquer fornecedor;
- Pode ser usado mesmo que falte informação da configuração ou estar incompleta;
- Suporta situações de teste não planeadas ou improvisadas, especialmente durante o comissionamento e localização de defeitos;
- Deteta mensagens GOOSE na rede, permitindo a sua monitorização, gravação do tráfego e simulação de mensagens GOOSE;
- Fornece a funcionalidade de 'cliente' para programadores de IED's segundo a Norma CEI 61850 (servidores);
- Permite a criação de arquivos SCL para dispositivos sem ferramentas de engenharia adicionais.

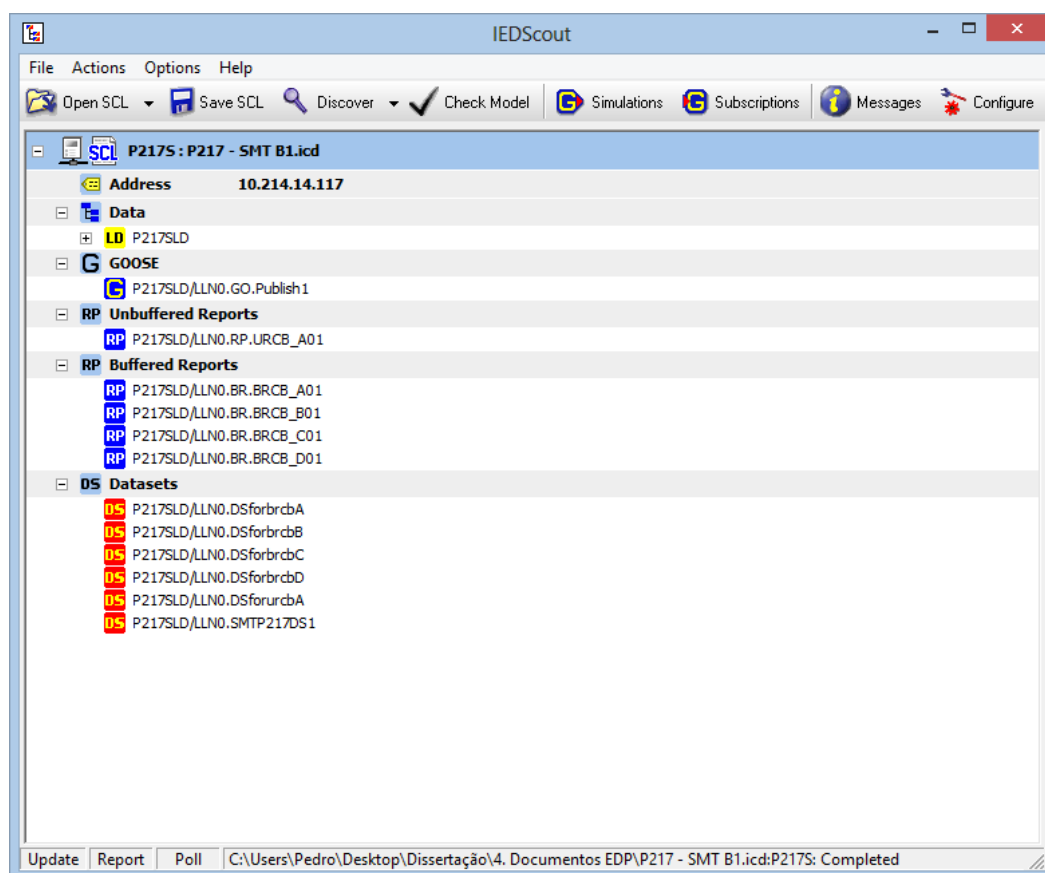



Figura 5.8 - Ambiente gráfico do módulo de *IEDScout* [40].

A Figura 5.8 mostra o ambiente gráfico do *software IEDScout*. A utilização desta ferramenta requer, além de equipamento de teste específico, de uma licença que permita a sua utilização segura e acreditada.

5.8.2 GOOSE [41]

O módulo de *software* de configuração GOOSE, representado na Figura 5.9, permite a configuração do mapeamento e dos ajustes do equipamento de teste CMC para a comunicação com as mensagens GOOSE na RLC da SE. Este módulo pode ser inserido múltiplas vezes em planos de teste, com qualquer módulo de teste OMICRON, para automaticamente configurar as 'ligações'. De forma a facilitar a entrada de parâmetros e evitar erros típicos, os parâmetros podem ser importados dos arquivos de configuração no formato normalizado SCL.

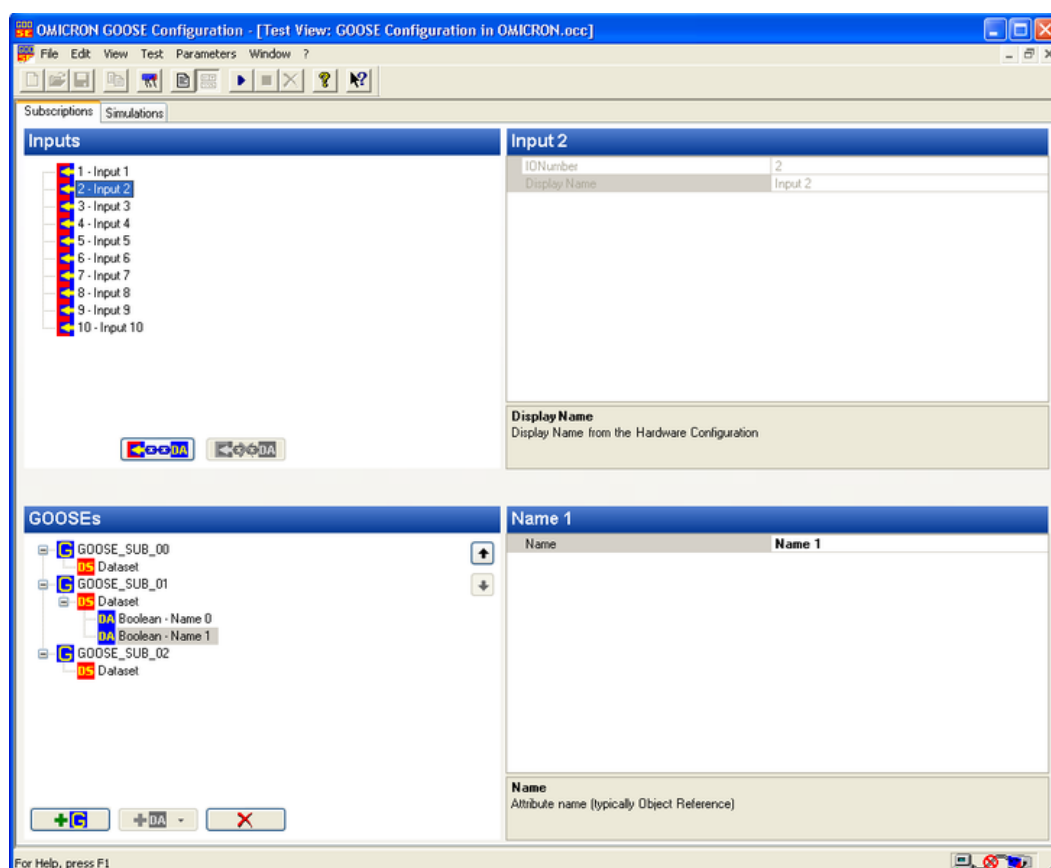



Figura 5.9 - Ambiente gráfico do módulo de configuração de mensagens GOOSE [41].

Equipamentos de teste CMC operam com *status* de dados em mensagens GOOSE como se fossem feitas 'ligações' para as entradas e saídas binárias do equipamento CMC. Atributos de dados recebidos (subscritos) de mensagens GOOSE atuam as entradas binárias do equipamento de teste, como por exemplo, sinais de *trip* ou arranque. Saídas binárias ativam atributos de dados em mensagens GOOSE simuladas (publicadas). Assim, por esta aproximação genérica, todos os módulos de teste do OMICRON *Test Universe* podem ser usados com o GOOSE.

5.8.3 *Sampled Values* [42]

O módulo de configuração *Sampled Values* é utilizado para configurar a geração de até três SV no equipamento de teste, simultaneamente, segundo a Norma CEI 61850. Este módulo fornece os parâmetros de comunicação e habilita a saída de SV. Tal como no caso anterior, para facilitar a entrada de parâmetros e evitar erros típicos, os parâmetros podem ser importados dos arquivos de configuração no formato normalizado SCL.

Os equipamentos de teste CMC geram SV de acordo com a 'Orientação para implementação de Interface Digital para Transformadores de Instrumentos usando IEC 61850-9-2', a uma taxa de 80 amostras por ciclo, destinados a aplicações de proteção e medição. Os SV publicados correspondem aos sinais de tensão e corrente analógicos gerados nas saídas de tensão e corrente do equipamento de teste CMC. O escalamento dos valores primários representados pelos SV é feito com os ajustes existentes do Transformador de Tensão (TT) e

Transformador de Corrente (TC) do Objeto sob Teste. Através desta abordagem genérica, todos módulos de teste do *software* OMICRON *Test Universe* podem ser usados com SV.

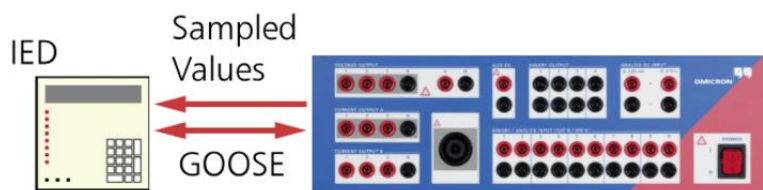



Figura 5.10 - Módulo de configuração de SV [45].

5.8.4 *SVScout* [18]

O software OMICRON SVScout faz com que os SV sejam visíveis para os engenheiros de SE's e programadores de IED's. Uma aplicação das funções do SVScout é testar uma unidade de campo (MU, do inglês: Merging Unit) através da comparação de dois SV. A medição da precisão da sincronização de tempo da MU é requerida para os programadores.

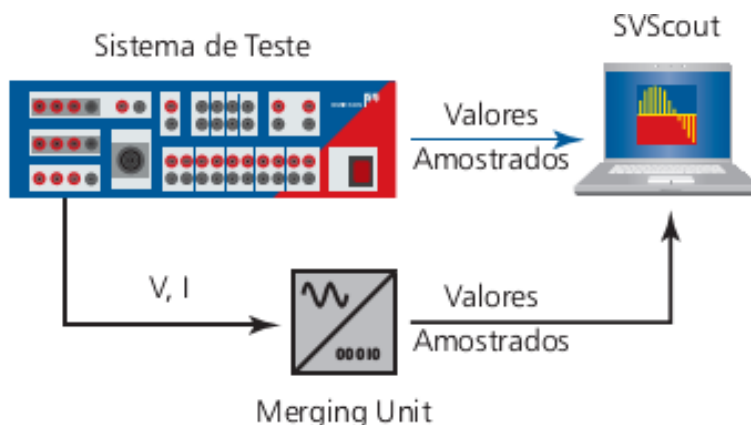



Figura 5.11 - Esquema de teste de SV numa *merging unit* [18].

A aplicação obtém os SV da MU e mostra as formas de onda das tensões e correntes primárias com a vista equivalente de um osciloscópio, sendo que os dados são mostrados com as suas unidades elétricas, Tensão e Corrente. Valores detalhados podem ainda ser pesquisados e comparados com a função *cursor*. Os valores *RMS* e os ângulos das fases são calculados a partir dos SV e mostrados num diagrama fasorial e numa tabela de medição.

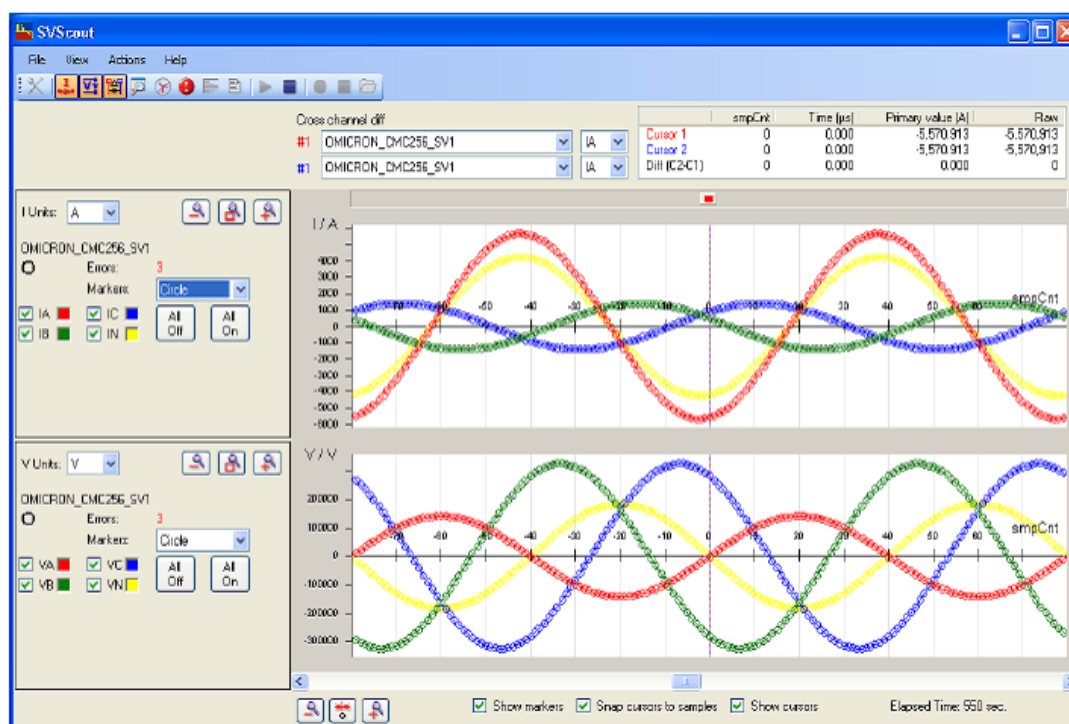



Figura 5.12 - Interface da aplicação *SVScout*, com valores de tensão e corrente amostrados [18].

A Figura 5.13 mostra o esquema geral de ensaio, que utiliza todas as ferramentas descritas atrás dedicadas para os equipamentos da OMICRON, numa SE implementada segundo o protocolo CEI 61850.

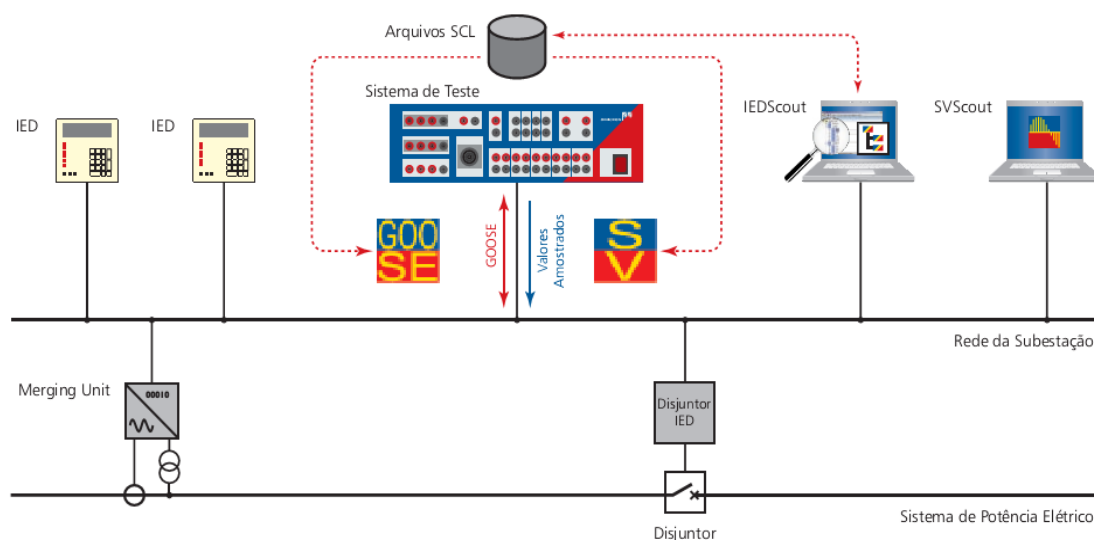



Figura 5.13 - Modelo geral de teste segundo CEI 61850 utilizando as ferramentas OMICRON, [18].

5.8.5 CMC 850 – Sistema de Teste CEI 61850 [46]

O CMC 850 é o primeiro sistema de teste de proteção do mundo dedicado à Norma CEI 61850 [43]. Este centra-se nos métodos de comunicação em tempo real, GOOSE e SV, para realizar a interface com os dispositivos sob teste. O conjunto de testes é controlado pelo

software OMICRON *Test Universe* já descrito na secção 3.6.1 (v). Além disso, o CMC 850 oferece várias funções incorporadas, as quais são acessíveis através de uma interface *Web*, utilizando simplesmente um navegador *Web* comum.

Uma vez que a sincronização de tempo é, na maioria das vezes, necessária durante o teste, como por exemplo a geração de SV sincronizados, a unidade de interface CMIRIG-B para sincronização de tempo da OMICRON é fornecida juntamente com o CMC 850. É ainda fornecido um conjunto de *software* (*IEDScout*, módulo de configuração GOOSE, módulo de configuração SV, *QuickCMC*, *State Sequencer* e OMICRON *Control Center*) que compõe assim o designado 'Pacote CMC 850', tornando o equipamento 'pronto a usar' para testes de sincronização com GOOSE e SV.

A unidade CMC 850 é leve e pequena, uma vez que é centrada para aplicações com CEI 61850, tornando as entradas/saídas binárias e amplificadores para sinais secundários desnecessários. Uma vez que a Operadora da Rede de Distribuição não possuí nenhuma mala compatível com os ensaios de verificação da Norma CEI 61850 este equipamento torna-se uma boa alternativa a uma nova mala de ensaios completa, visto o seu mais baixo custo de aquisição em relação a uma mala de ensaios completa. O equipamento CMC 850 está representado na Figura 5.14.

Figura 5.14 - Equipamento CMC 850 da OMICRON e caixa de interface CMIRIG-B [43].

5.9 Ferramentas RTDS *Technologies*® para testes da Norma CEI 61850 [15]

Os recentes desenvolvimentos para o Simulador Digital em Tempo Real (RTDS, do inglês: *Real Time Digital Simulator*) permitem testar os dispositivos compatíveis com o padrão de comunicação definido pela Norma CEI 61850. Esta ferramenta é capaz de realizar a simulação em tempo real aos barramentos de estação e de processo, segundo o esquema apresentado na Figura 5.15. Para que tal seja possível um novo cartão deve ser adicionado numa *slot* da *Rack*[5] do simulador RTDS. Esse cartão, designado de GTNET, do inglês: *Giga-Transceiver Network Communication Card*, é responsável por fornecer uma ligação de comunicação em tempo real ao simulador via *ethernet*, sendo capaz de traduzir mensagens segundo a CEI 61850 para o simulador, suportando sinais binários bidirecionais, tal como sinais *Trip* de relés ou sinais de estado para relés, bem como SV, como por exemplo *time-stamped voltage and current*, permitindo testar os equipamentos e sistemas segundo esta nova tecnologia de SE’s [44].

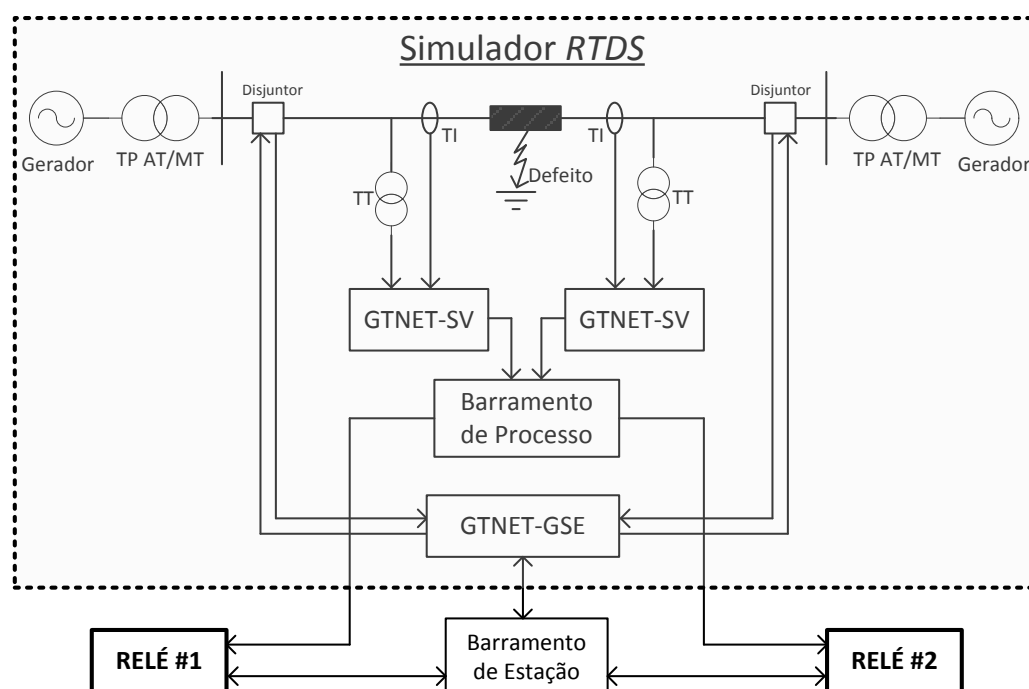



Figura 5.15 - Esquema de ensaio de conformidade com a CEI 61850 Utilizando o simulador RTDS [15].

Se o equipamento de proteção está em conformidade com a CEI 61850, os comandos do disjuntor podem ser importados para a simulação usando o GTNET-GSE, suportando este tanto mensagens GOOSE como GSSE. A opção de *firmware* para esta aplicação permite um máximo de 64 sinais de entradas binárias e 64 sinais de saídas binárias para serem trocados entre o simulador e até 8 compatíveis com IED’s segundo a Norma CEI 61850. Está também disponível um editor de ficheiros SCL que pode ser usado para criar/editar os arquivos SCL, secção 4.12, necessários para a configuração da Norma CEI 61850.

[5] Ver Figura 3.10, Secção 3.6.2.

Uma outra aplicação, designada por GTNET-SV, possuí a opção de *firmware* de SV que fornece mensagens segundo CEI 61850, Parte 9-2, de SV para tensões e correntes do Sistema Elétrico de Energia. Em relação ao *time-stamp* dos SV, um sinal de um pulso por segundo pode dar entrada para o GTNET através de uma ligação em cabo coaxial ou via fibra ótica.

Figura 5.16 - Cartão GTNET [15].

O simulador RTDS foi já ligado, segundo relatado em [15], a uma ampla gama de dispositivos que asseguram as mensagens binárias GOOSE e GSSE, tais como *Siemens 7SA522* e *7SJ640*, *ABB REL 670*, *Areva P444*, entre outros. Foram ainda realizadas simulações de SV, segundo a mesma fonte, aos equipamentos *ABB REL 670* e *Areva P444*.

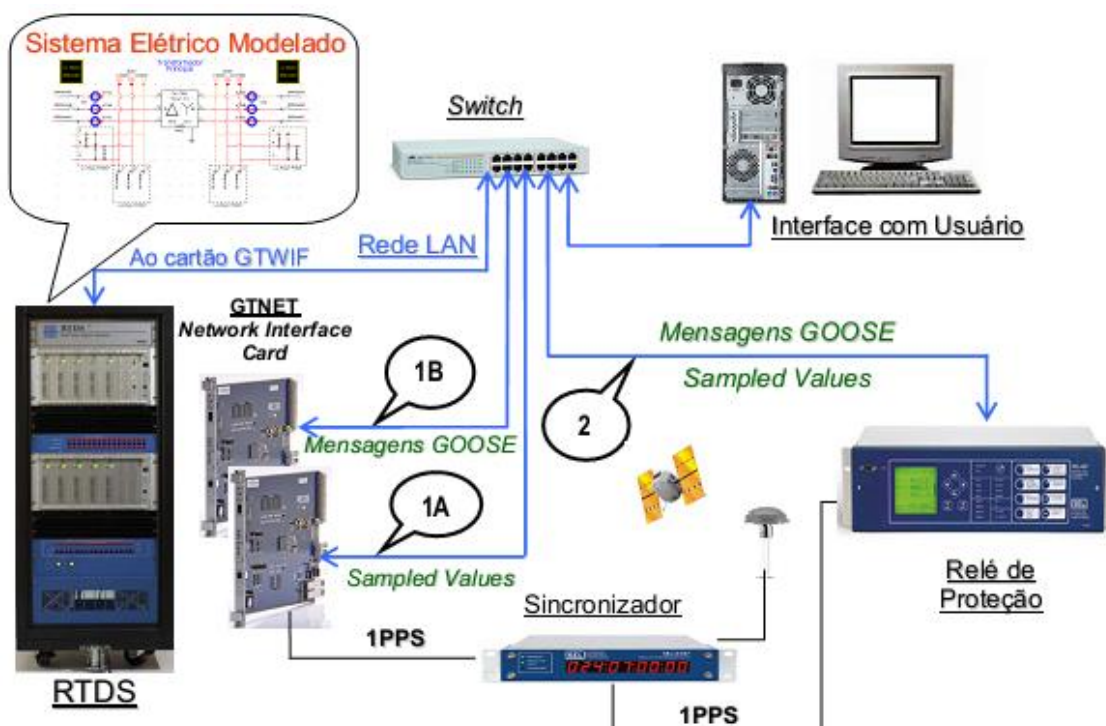



Figura 5.17 - Esquema de montagem para ensaios segundo a Norma CEI 61850 [28].

De forma mais prática é apresentado na Figura 5.17 as ligações físicas dos ensaios referidos. É visível a comunicação entre os cartões GTNET e o relé de proteção, implementada via *ethernet* através dos enlaces físicos (1A), (1B) e (2).

Uma vez que o RTDS presente na FEUP não possuí todos os acessórios necessários aos ensaios referentes à conformidade da Norma CEI 61850 não foram efetuados quaisquer tipos de ensaios com este, sendo que em [28] foram colocados em prática alguns ensaios, nomeadamente referentes às mensagens GOOSE, onde foram colocados em comparação com os ensaios convencionais. Segundo os resultados obtidos ao longo dos diferentes ensaios foram retiradas algumas conclusões, as quais são citadas nos pontos abaixo, de forma resumida.

- Verificou-se que para o esquema com interface convencional, o tempo gasto nas interfaces entre o relé de proteção e o equipamento de teleproteção de ambos extremos da linha, representa mais de 50% do tempo de transferência total do sinal;
- Constatou-se que para um cenário de comunicação livre de colisões, as mensagens GOOSE apresentam um ganho de 6ms no tempo total de transferência do sinal de bloqueio, quando comparadas com as respostas dos esquemas convencionais;
- Constatou-se a substituição total dos 20 fios de cobre utilizados nas interfaces convencionais entre os relés e o RTDS, por apenas três cabos de rede utilizados nas interfaces com mensagens GOOSE, significando uma significativa redução de custos;
- Na implementação do esquema de teleproteção com interface GOOSE, comprovou-se que o levantamento das conexões físicas não esclarece as conexões lógicas implementadas nos relés, levando à necessidade de documentar as conexões lógicas para entender os enlaces estabelecidos entre os relés e o RTDS. Facto este permitiu concluir que no caso da implementação da CEI 61850 dentro dos SAS, os esforços nas etapas de construção e comissionamento podem ser razoavelmente maiores;
- Para estabelecer a interoperabilidade na parametrização das mensagens GOOSE é necessário dominar as ferramentas de configuração (*softwares*) de cada fabricante dos dispositivos envolvidos, constatando-se uma dificuldade crescente à medida que a quantidade de dispositivos de diferentes fabricantes numa SE aumenta.

A partir destas conclusões é possível aferir-se algumas vantagens e desvantagens da utilização do novo padrão de comunicação nas SE, nomeadamente aos problemas que hoje em dia se enfrentam nesta mudança de paradigma e quais os caminhos que devem ser tomados para uma sofisticação positiva das SE's e das equipas de comissionamento e manutenção. Este assunto será descrito com maior pormenor no Capítulo 6. Contudo, ficam no ponto a seguir algumas vantagens da utilização do RTDS em testes segundo a Norma CEI 61850.

5.9.1 Vantagens de se utilizar um Simulador Digital em Tempo Real

A primeira vantagem apresentada em [28] é a nova proposta de interface ao nível de processo, conforme a CEI 61850, Parte 9-2. Neste caso, o RTDS através de um novo cartão de comunicação, o GTNET, permite fornecer diretamente os SV das tensões e correntes requeridas pelo relé durante os testes. Deste modo, os dispositivos amplificadores e a fiação tipicamente associada ao esquema convencional de teste são totalmente substituídos por um único fio de comunicação entre o relé e o referido cartão.

A segunda vantagem está relacionada com a nova proposta de interface ao nível do barramento de estação, conforme a CEI 61850, Parte 8-1. Aqui, através do mesmo cartão GTNET, o RTDS propõe uma comunicação ponto-a-ponto com os dispositivos sob teste, empregando as mensagens GOOSE. Nesta situação, tem-se um único fio de comunicação substituindo a fiação tipicamente associada aos sinais binários dos esquemas convencionais de teste.

5.10 Comentários Finais

A introdução da Norma CEI 61850 representa um novo estágio tecnológico para os sistemas de proteção e automação de SE's, alterando a forma de conceber, especificar, acompanhar a fabricação, testar, operar e manter estes sistemas. Tal situação requer que as empresas que pretendem usufruir dos benefícios que esta tecnologia oferece, iniciem, de forma insistente e profissional, o treino das suas equipas técnicas.

Além dos testes de conformidade de cada IED específico, os testes do SAS completo, incluindo IED's de diferentes fabricantes interligados por uma RLC deve ser realizado em laboratório, de modo a identificar e corrigir possíveis problemas, tornando mais rápida a fase de testes de campo e o início da operação do SAS. Tendo em vista a importância e complexidade do assunto, os autores chamam a atenção para a necessidade de preparação adequada dos técnicos e engenheiros que estarão envolvidos com as áreas de proteção, comando, controlo, automação, comunicação e sistemas de computação de SE's para que a Norma CEI 61850 possa ser mais rapidamente assimilada e utilizada nas diversas aplicações.

O treino deve focar-se em assuntos como os Fundamentos da Norma CEI 61850, Redes LAN, Configuração do Sistema, Ferramentas de Engenharia, Testes Funcionais e de Interoperabilidade, entre outros. Os testes práticos servem para a verificação de dois resultados, (i) verificação da correta atuação da função de proteção e (ii) para a monitorização de dados gerados pelos eventos de proteção em protocolo CEI 61850.

Capítulo 6

Avaliação do Impacto da CEI 61850 na Operadora da Rede de Distribuição

Neste capítulo será demonstrado até que ponto os diferentes fabricantes e clientes, como a Operadora da Rede de Distribuição portuguesa, utilizam o padrão de comunicação CEI 61850 nos seus sistemas. Assim, serão identificadas as limitações para a implementação atual do teste de interoperabilidade e o estado atual das Subestações de Energia Elétrica (SE's) implementadas segundo a Norma CEI 61850. É objetivo deste capítulo dar a conhecer possíveis trabalhos ainda a desenvolver no âmbito da utilização integral da Norma CEI 61850, quer ao nível dos fabricantes quer ao nível da Operadora da Rede de Distribuição portuguesa.

6.1 Introdução

A CEI 61850 não é 'apenas mais um protocolo'. É um conjunto de protocolos que, quando utilizados em conjunto, se torna diferente de outros protocolos da indústria da energia [45]. A sua aceitação global tem sido questionada com a pouca prática e implicações na implementação. A definição de Procedimentos de Ensaio é o grande desafio que se enfrenta atualmente face à Norma CEI 61850, onde recaem várias questões, entre as quais o modo de configuração dos dispositivos segundo a Norma CEI 61850, como deveriam estes ser testados e o que é necessário para realizar os testes.

6.2 Ferramentas de Engenharia [46]

A generalidade dos fabricantes de proteções começou a adaptar os seus equipamentos às necessidades impostas pela Norma CEI 61850. O processo de adaptação envolve a criação de ferramentas de engenharia que paralelamente à configuração dos Dispositivos Eletrónicos inteligentes (IED's, do inglês: *Intelligent Electronic Devices*) consigam criar e lidar com os diferentes formatos de ficheiros SCL, do inglês: *Substation Configuration Language* (ver secção 4.12), e apoiar as equipas técnicas nos ensaios e manutenções. Este procedimento

torna possível lidar com os seus IED's no ambiente da Norma CEI 61850 ao nível da ferramenta de configuração de IED's e ao nível da ferramenta de configuração de sistema. Chegada a fase de configuração da SE, é requerido que estes dois níveis de ferramentas estabeleçam canais de comunicação entre si, ou seja, é necessário garantir também a interoperabilidade entre as ferramentas de configuração dos IED's e do sistema.

As ferramentas de configuração têm de ser dotadas da capacidade de importar tantos ficheiros de configuração de IED's, quantos aqueles que se desejem instalar num determinado projeto de uma SE. Os ficheiros descritivos dos IED's têm de ser gerados pelas respetivas ferramentas de configuração de IED's. Posteriormente, o configurador de sistema tem de gerar um ficheiro com a configuração da SE, que tem de ser rececionado pelas ferramentas de configuração de IED's, de modo a que todas as configurações sejam devidamente percecionadas por todos os IED's constituintes da SE. As Principais tarefas das ferramentas de configuração passam por responder às seguintes questões [47]:

(i) Como dizer a um IED a forma que o equipamento principal é conectado?
(ii) Como dizer a um IED quais as funções que ele deve fornecer (e.g. bloqueio e controlo)?
(iii) Como dizer aos IED's que valores de dados devem fornecer para as funções internas do IED e para outros IED's?
(iv) Como dizer aos IED's que valores de dados devem enviar, quando envia-los e para quem?
(v) Como dizer aos IED's que valores de dados vão receber de outros IED's (e.g. posição do disjuntor), e como receber (e.g. MMS, GOOSE ou Relatórios)?

O uso de ferramentas desenvolvidas fora do contexto dos próprios fabricantes de proteções é um fator decisivo para a configuração de uma SE reutilizável, visto que o processo de construção destes *softwares* deve ter seguido um princípio de universalidade de utilização, não devendo depender dos fabricantes que se pretendem utilizar no projeto. Este facto é preponderante para os sistemas, onde se deseja chegar a uma configuração da SE, pautada pela imparcialidade em relação aos fabricantes considerados. Em última análise, nunca vai ser possível contornar completamente a necessidade de recorrer às ferramentas dos fabricantes, mas caminha-se na tentativa de reduzir ao máximo esta necessidade.

6.2.1 Ferramenta de Configuração de Dispositivos Eletrónicos Inteligentes

Há muitas formas distintas de configurar os IED's. Cada fabricante adota as suas próprias ferramentas e filosofias. As ferramentas proprietárias de cada fabricante geralmente não suportam a configuração dos IED's de outros fabricantes. Existe, portanto, a necessidade de conhecer e compreender a filosofia de cada fabricante. Para realmente aproveitar as vantagens da CEI 61850 é necessário ter as ferramentas certas e as pessoas qualificadas que

possam usar essas ferramentas [47]. Na Figura 6.1, a título de exemplo, mostram-se várias ferramentas para os fabricantes de IED's mais implementados nas SE's de Distribuição AT/MT.

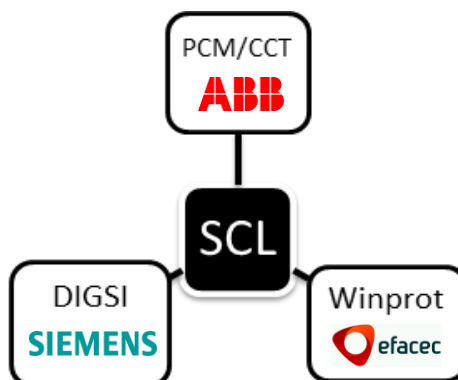



Figura 6.1 – *Softwares* de configuração de IED's de diferentes fabricantes.

É necessário que toda a parametrização dos IED's ocorra mediante o modelo de dados descrito nos arquivos SCL, o que não é a realidade provida pelos fabricantes atualmente. Geralmente ocorre a padronização da parte mandatária, para que haja comunicação entre os equipamentos, e não a sua completa parametrização.

O principal objetivo da configuração do IED é obter os arquivos SCL necessários para a configuração do sistema, arquivo ICD ou CID, como descritos da secção 4.12. Nesta configuração é feita a descrição de cada IED no que se refere aos pontos de acesso, aos Dispositivos Lógicos (LD's, do inglês: *Logical Devices*) às instâncias de Nós Lógicos (LN's, do inglês: *Logical Nodes*) e dentro destes as instâncias de dados, e ainda a capacidade do IED em termos de serviços de comunicação. Para os IED's que suportam os arquivos SCL necessários, o *software* de configuração de qualquer fabricante deve ter capacidade de visualizar as descrições dos dados dos arquivos SCL que representam as necessidades do sistema e os recursos dos IED's. Isso permite que o projetista visualize e conecte logicamente os dados entre os IED's de qualquer fabricante. Ou seja, deve também ser verificada a interoperabilidade entre as ferramentas de configuração dos IED's de diferentes fabricantes.

(i) Configuração das Comunicações

O *software* proprietário de cada fabricante permite também a configuração das comunicações na SE, tanto a comunicação vertical quanto a comunicação horizontal. Para a comunicação vertical, é definido o IP, do inglês: *Internet Protocol*, do IED. Para a comunicação horizontal é definido o conteúdo das mensagens GOOSE, definidas na secção 4.11, que são enviadas e quais as mensagens GOOSE que são recebidas [39]. Dois grandes desafios aparecem aquando da implementação das mensagens GOOSE, sendo:

1. A configuração das mensagens GOOSE entre IED's de diferentes fabricantes, a fim de se alcançar a interoperabilidade;
2. Garantia dos requisitos de desempenho (*time relay*), definidos pela CEI 61850.

Segundo [48], existem quatro passos a percorrer para configuração de mensagens GOOSE na SE, considerando que existem IED's de diferentes fabricantes. De forma breve, o primeiro passo é referente à modelação dos dados, tal como já definido na secção 4.6, onde a hierarquia deve ser mantida. Neste primeiro ponto fica também definida a referência utilizada para a comunicação de informações necessárias. O segundo passo refere-se à configuração dos conjuntos de dados nos IED's individuais. Existe um conjunto de parâmetros necessários para a configuração. Entre eles encontram-se os GOOSE ID (*goID*), *Multicast* MAC *address*, VLAN *priority* (*should be at least* 4), VLAN ID (*according to ethernet switch configuration*), *Application* ID (*AppID* or *ETYPE APPID*), *Configuration revision* (*confRev*), *DataSet Name*, *Time to live* (*timeAllowedtoLive*) *for G*OOSE *message in milliseconds.*

A terceira tarefa passa pela configuração das *inputs/outputs* (I/O) GOOSE dos IED's. Com esta tarefa pretende-se ligar a transmissão ou receção do conjunto de dados GOOSE com a variável interna de um IED. Cada fabricante tem o seu próprio nome de variável, e isso deve ser referenciado a um determinado dado ou atributo de dados para o conjunto de dados GOOSE. A etapa de configuração final é a integração das mensagens GOOSE na SE utilizando a ferramenta de configuração do sistema, de tal forma que a interoperabilidade seja verificada. Resumidamente, a configuração das mensagens GOOSE engloba (i) a configuração dos conteúdos das mensagens GOOSE, (ii) a configuração da publicação das mensagens GOOSE e (iii) a configuração da subscrição das mensagens GOOSE.

Uma particularidade relativamente à configuração das mensagens GOOSE é que dependendo do fabricante as mensagens são publicadas através do LN GGIO, enquanto outras são publicadas através de LN's específicos, como PDIS (proteção de Distância) ou PTOC (Proteção de Sobreintensidade Temporizada), por exemplo. Estas diferenças terão influência significativa no tempo de publicação das mensagens GOOSE de alta velocidade com tempos críticos de transferência.

6.2.2 Ferramenta de Configuração de Sistema

A especificação de um Sistema de Automação de Subestação (SAS) segundo a Norma CEI 61850 é, até certo ponto, semelhante à especificação de um sistema convencional. Para a sua correta configuração devem ser fornecidas várias informações, nomeadamente:

- O diagrama unifilar da SE;
- A lista de pontos;
- As funcionalidades requeridas;
- Os requisitos de desempenho;
- As interfaces com o processo e com outros IED's;
- Protocolos, condições ambientais, índices de confiabilidade admitidos ou critérios de tolerância a falhas aceitáveis.

O uso específico da Norma CEI 61850 requer, adicionalmente, outros requisitos. São esses que provocam as diferenças para a configuração de um SAS convencional. Entre eles:

- Informação das características do subsistema de comunicação, referentes à Rede Local de Comunicação (RLC) ou LAN *ethernet* e os seus equipamentos de comunicação;
- A documentação em linguagem SCL;
- Os procedimentos de teste específicos para o SAS adquirido.

A ferramenta de configuração do SAS deve estar adequada aos novos requisitos necessários para implementar as características da Norma CEI 61850. Para uma completa configuração do sistema devem ser associados à SE os IED's responsáveis pela garantia da aplicação das funções de proteção, comando e controlo dos painéis da SE. Para esta concretização é necessário proceder à importação dos arquivos descritivos de cada IED, arquivos ICD ou CID, fornecidos pelas ferramentas de configuração de cada fabricante de IED's, depois de configurados para a instalação em questão. Alguns problemas que surgem nesta tarefa é a incompatibilidade na importação destes ficheiros, sendo que a ferramenta de configuração do sistema apenas consegue decifrar um dos tipos. Para ultrapassar esse problema, a maior parte das vezes, basta alterar a extensão do arquivo.

O uso do Configurador de Sistema propicia aos seus usuários todo o conjunto de ferramentas e funções necessárias para execução dos passos a serem seguidos para se obter o arquivo SCD da SE, quais sejam:

1. Desenho do diagrama unifilar da SE através de uma interface gráfica. Envolve a criação dos elementos da SE e suas interconexões, através de nós de conectividade;
2. Escolha da funcionalidade requerida para cada elemento da SE através da seleção do LN mais adequado;
3. Configuração ou importação de arquivos de configuração de IED's, e associação dos IED's aos LN's dos elementos da SE.

O arquivo SCD da SE é o ponto de partida para o funcionamento da ferramenta de Geração Automática de Base de Dados e Sinóticos, no sentido de que a informação de topologia presente no mesmo provê os dados que, juntamente com o conjunto de regras estéticas da Operadora da Rede possibilitam a criação dos sinóticos da SE pelo aplicativo Gerador de Sinóticos.

6.3 Diferentes 'Visões' da Norma CEI 61850

A CEI 61850 é a Norma de comunicação de SE's muito discutida em todo mundo [49]. No entanto é ainda pouco implementada como padrão internacional para a automação de SE's. Apesar da CEI 61850 se ter tornado sinónimo de 'moderno', 'rápido', 'tecnológico', o número

de implementações é surpreendentemente baixo, comparado com o número total de SE's [49]. Isto deve-se, por um lado a diferentes interpretações da Norma CEI 61850, mas por outro, à possível falta de confiança das empresas-cliente na aplicação da CEI 61850, a questões económicas, nomeadamente em novos empreendimentos ou na renovação dos Sistemas Clássicos, entre outros.

A Operadora da Rede de Distribuição portuguesa, no que respeita ao Norte, apresenta um total de 120 Instalações (SE's e Postos de Corte), entre as quais 30 dessas são de tecnologia numérica, o que corresponde a 25% do total de instalações. Entre estas 30 instalações numéricas são identificadas 7 instalações que funcionam segundo o protocolo CEI 61850, o que corresponde a cerca de 5,83% do total de instalações do Norte[6]. As instalações CEI 61850 identificadas estão divididas entre os três fabricantes utilizados pela Operadora da Rede, Efacec, Siemens e ABB. No entanto, nenhuma dessas instalações incorpora na mesma RLC equipamentos de fabricantes distintos, ou seja, não existe a necessidade de verificação da interoperabilidade e portanto dos testes de interoperabilidade. Segundo a mesma fonte[6], existem no Sul do país instalações CEI 61850 que incorporam na mesma RLC equipamentos de distintos fabricantes, embora tenham sido soluções adaptadas, não sendo possível a sua generalização.

Deste modo não é verificada a possibilidade de se poder substituir um equipamento funcionalmente equivalente de um fabricante por outro fabricante. Um teste prático relativo a este constrangimento foi realizado em laboratório, tendo-se, a partir de uma base de dados de uma SE existente, substituído um dos seus IED's da Efacec por um IED funcionalmente equivalente da Siemens inserido na mesma Rede Local de Comunicação, tal como a Figura 6.2 representa, tendo sido apenas alterado o seu endereço IP. O resultado obtido através do *trace* representado na Figura 6.3 foi que existe sempre um erro na comunicação sempre que a Unidade Central (UC representada na Figura 6.2) tenta comunicar com o IED da Siemens.

Cabe às empresas-cliente dos IED's ter uma preocupação de como tratar o modelo de designações atualmente existentes em vista do impacto do modelo proposto pela Norma CEI 61850, aquando do planeamento de uma nova SE ou de migração de uma SE para o protocolo CEI 61850. Com isto deve também ser realizada uma análise criteriosa da proposta das extensões de objeto de dados e LN, propostos pelos diferentes fabricantes. O ideal seria que as empresas definissem na fase de conceção de projeto um modelo definitivo que atenda os próximo empreendimentos. Propõe-se deste modo a criação de um grupo de estudo para analisar e definir uma padronização a nível da empresa-cliente das extensões do objeto de dados e LN's da Norma CEI 61850.

[6] Dados fornecidos pelo Departamento de Operação e Manutenção do Norte, da Direção de Automação e Telecontrolo da EDP Distribuição – Energia SA.

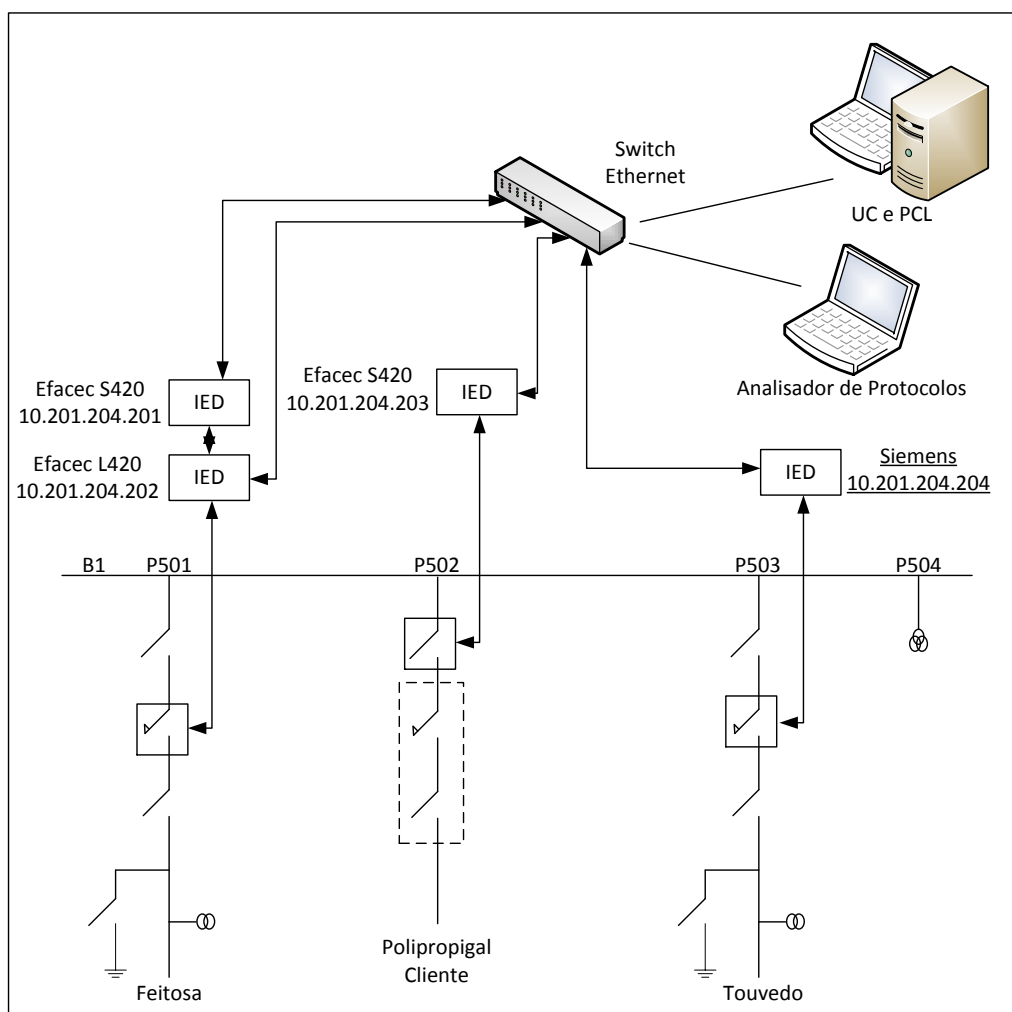



Figura 6.2 – Esquema da SE utilizada para o ensaio.

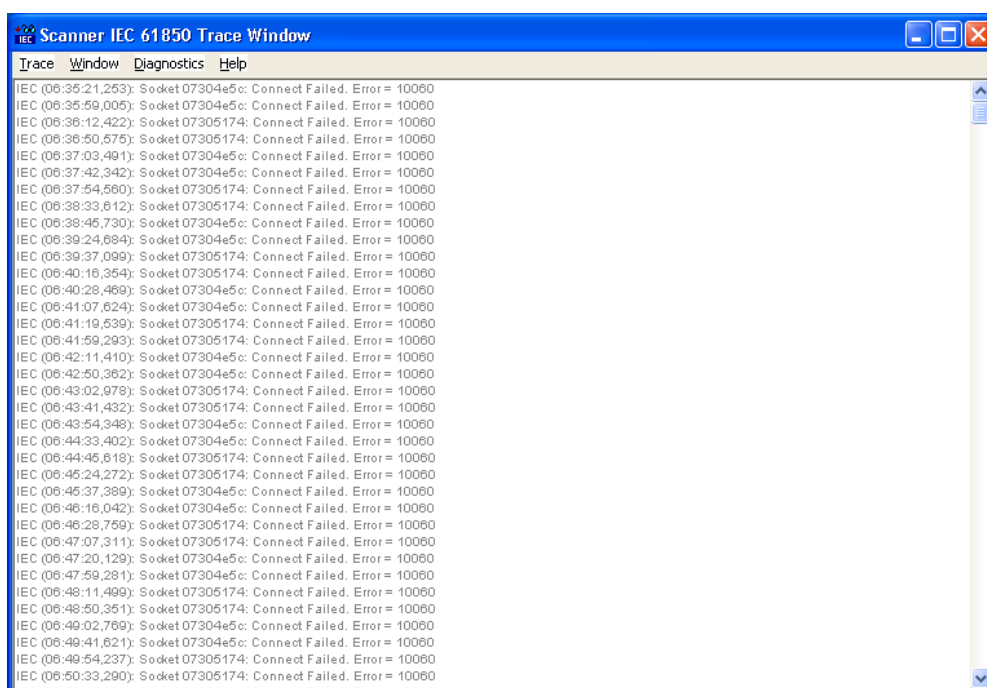



Figura 6.3 – Trace da comunicação do ensaio realizado.

O facto de a Operadora da Rede não indicar uma orientação específica em termos de soluções da Norma, mesmo que os dispositivos sejam concebidos de acordo com os princípios da Norma, as soluções serão maioritariamente dependentes de cada fabricante. Deste modo a Operadora da Rede não maximiza os benefícios do uso da CEI 61850, incluindo a dependência das implementações com os fornecedores, um aumento do nível de interoperabilidade a nível da informação e a possibilidade de reutilização da engenharia entre projetos.

As empresas-cliente devem solicitar que os fabricantes usem nomes descritivos apropriados nos pacotes e dados da CEI 61850 como, por exemplo, nos nomes dos LN's, evitando nomes genéricos. Deve ainda ser solicitado que funções iguais sejam configuradas com os mesmos nomes dos LN's. A título prático exemplificativo deste problema repare-se na Tabela 6.1. Verifica-se que para as mesmas sinalizações no Centro de Comando a utilização de LN por dois diferentes fabricantes da Operadora da Rede de Distribuição são diferentes. Repare-se ainda que, quer seja para proteção de máximo de intensidade instantânea quer temporizada o LN no mesmo fabricante não altera, pelo que devia ser como indicado na última coluna da Tabela 6.1, segundo a CEI 61850 [25]. Isto funciona de forma igual uma vez que as Classes de Dados Comuns (CDC) são iguais para os dois LN's, o que pode causar é más interpretações e identificações contraditórias dificultando a uniformização.

Tabela 6.1 - Comparação de *tags* CEI 61850 entre dois diferentes fabricantes.

Centro de Comando		**Efacec**	**Siemens**	**CEI61850**
MAX I>INST	dtsiglnnxx-PRI1I	PFDPTOC2STStr	IED_2PROT$PIOC1$ST$Str	PIOC
MAX I>TEMP	dtsiglnnxx-PRI1T	PFDPTOC2STOp	IED_2PROT$PIOC1$ST$Op	PTOC

É também reconhecido que muitas informações não são referidas na Norma CEI 61850 como um LN específico [49]. Deste modo têm que ser definidas como um LN Genérico, designado pela CEI 61850 por GGIO. O que se verifica é que vários fabricantes nesta fase inicial de implementação da Norma CEI 61850 utilizam demasiados LN GGIO's para as funções de proteção, comando e controlo, para simplificar e agilizar o desenvolvimento do produto. Contudo, dificulta a identificação e interpretação por parte dos especialistas da Operadora da Rede em caso de novas configurações ou manutenções, eliminando também a capacidade de efetuar configurações automáticas [49]. Esta constatação está visível na Figura 6.4 representativa dos LN's de um IED da Efacec.

Torna-se portanto tarefa necessária, para a Operadora da Rede, definir as suas próprias especificações da Norma CEI 61850, não só para definir claramente o que se quer dos diferentes fabricantes, mas também para melhor avaliar como as soluções são implementadas. A concretização desta visão é, contudo, limitada por várias questões, como as práticas da indústria, a complexidade, o custo-eficácia, a disponibilidade de tecnologia, maturidade e aplicação da CEI 61850. É, portanto, um processo que deve ser construído passo a passo e que vai levar o seu tempo.

Figura 6.4 – Nós Lógicos de um IED de proteção de uma subestação da Efacec.

Estas diferenças encontradas entre diferentes fabricantes podem ainda ter mais impacto se o número de fabricantes crescer numa mesma instalação. Estes aspetos encontram-se na atualidade como que barreiras à aplicação prática da interoperabilidade, e enquanto os fabricantes e a Operadora da Rede não se unirem e definirem uma uniformização destas e outras formatações as mais-valias que a Norma CEI 61850 pode trazer para os SAS não podem ser aproveitadas [49].

Existe um elevado esforço inicial pelo qual os fabricantes e Operadora da Rede devam passar para a implementação de sistemas totalmente segundo a CEI 61850, o qual é considerado como um impedimento para muitos potenciais compradores. No entanto, a longo prazo o conhecimento do saber e fazer, do inglês: *Know-How*, será uma mais-valia, podendo facilitar os diferentes tipos de tarefas. É, portanto, necessário, nesta fase inicial, a elaboração de extensos ensaios em laboratório, comissionamento e elaboração de documentação para apoio futuro [49].

Os testes mencionados no Capítulo 5 são parte necessária para a criação de *Know-How*. É com eles que os engenheiros técnicos têm o primeiro contacto com a aplicação prática da CEI 61850. Este conjunto de testes não são de todo requeridos pela Norma CEI 61850, mas trata-se principalmente de aumentar a confiança do utilizador de que o SAS e os IED’s atendem aos requisitos da Norma CEI 61850 e mais ainda aos requisitos do utilizador para garantir uma operação segura, confiável e eficiente do Sistema Elétrico de Energia.

Apenas os especialistas, com experiência e conhecimento de longo prazo, podem ajudar a avaliar o impacto da nova tecnologia, de forma a verificar se realmente atende a todas as exigências técnicas e financeiras. A CEI 61850 não substituí o conhecimento e experiência dos engenheiros especialistas. A Norma CEI 61850 é apenas uma ferramenta, e como todas as ferramentas, necessitam de alguém com as competências adequadas para as utilizar em benefício das suas utilidades. Como se costuma dizer na gíria, '*even a fool with a tool is a fool*' [47].

Um outro aspeto relevante constatado na Operadora da Rede de Distribuição é a falta de documentação de conformidade dos equipamentos, principalmente dos IED's, como solicitado nos ensaios de conformidade da CEI 61850, secção 5.3. O fornecimento da documentação deve ser fornecida pelos diferentes fabricantes. No entanto, recai sobre a Operadora da Rede de Distribuição a responsabilidade e o cuidado de solicitar a documentação mínima necessária e imposta nos protocolos aplicáveis.

6.3.1 Livre alocação de funções

Existe uma flexibilidade na forma como são distribuídos os LN's entre os diversos IED's da rede através dos quais serão executadas as funções e aplicações dos diferentes processos [50]. A Figura 6.5 ilustra exemplos de duas formas diferentes de se agrupar LN's nos IED's de proteção e controlo para se executar as mesmas funções. Na primeira forma todos os LN's são separados num par de IED's que realizam, cada um deles, as funções de proteção e controlo. Na segunda forma os LN's são agrupados de forma que as mesmas funções de proteção e controlo são executadas por um único IED. Em termos práticos, não houve qualquer perda de funcionalidade. No entanto, a primeira forma permite uma maior fiabilidade das funções uma vez que não dependem de apenas um IED. Porém dependem mais fortemente da rede de comunicação entre os IED's e o seu custo é mais elevado devido à maior quantidade de equipamentos necessários. Já a segunda forma permite menor custo de investimento em equipamentos, incluindo equipamentos da rede de comunicação. Porém exige maior fiabilidade do IED já que este fica responsável por um maior número de funções.

As soluções apresentadas trazem impactos diretos em processos de teste, manutenção e operação do Sistema Elétrico de Energia, assim como a necessidade de desenvolvimento de novas rotinas e posturas perante a nova realidade. A adoção de uma ou outra estratégia deve advir do solicitado pela Operadora da Rede. Esta tem o papel de uniformizar estes aspetos de forma que todas as SE's tomem a mesma solução de implementação.

Cuidados especiais devem ser adotados quando um IED é responsável pela proteção e controlo de vários objetos. Apesar da economia em IED's, devem ser tomados procedimentos adequados no manuseio do IED. Assim, blocos de testes adicionais e rotinas de manutenção mais detalhadas serão necessários [50]. Apesar das possibilidades de livre alocação de funções, permitida pela capacidade dos IED's, a totalidade da sua aplicação deverá ser mais explorada, nomeadamente a partir da implementação do barramento de processo (ver secção

4.14). Só assim os valores de corrente e tensão podem estar distribuídos, de maneira digital, pela rede local de comunicações [50].

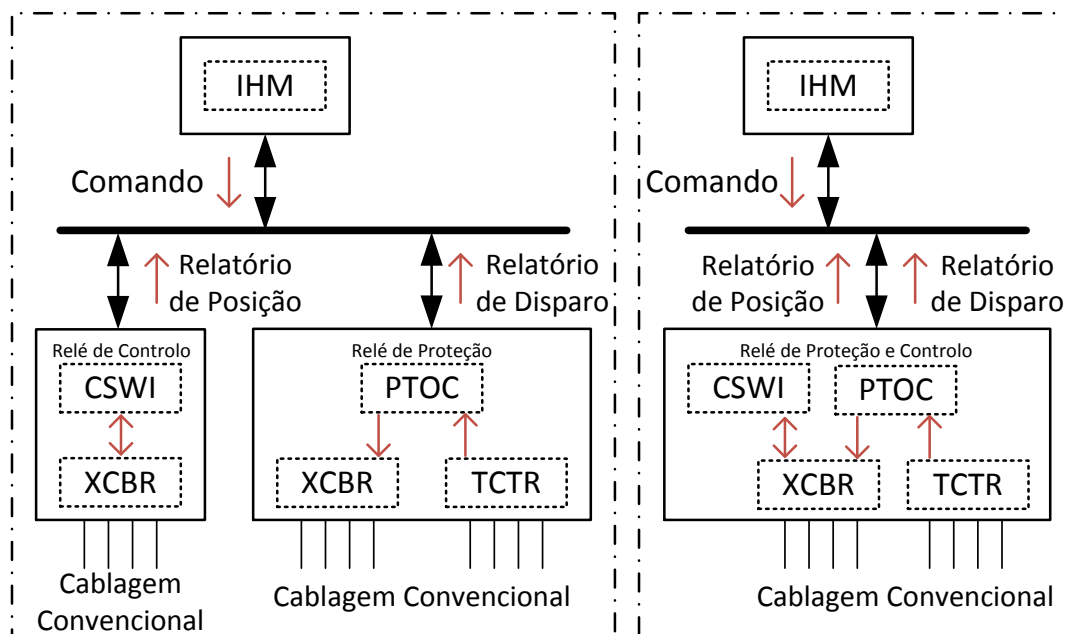



Figura 6.5 - Exemplo de formas de alocação de Nós Lógicos entre IED's [50].

6.4 Dificuldades na Integração entre Dispositivos de diferentes fabricantes

Durante a integração entre IED's de diferentes fabricantes foram evidenciadas algumas deficiências relativas aos fabricantes em pontos pertinentes relativamente ao tratamento de arquivos em linguagem SCL e à configuração de mensagens GOOSE. Os pontos a seguir mostram algumas dessas divergências [51]:

- Alguns fabricantes não disponibilizam arquivos de configuração SCL nos formatos ICD ou CID dos dispositivos de proteção, o que dificulta para outros, a importação da configuração dos "*Goose Control Blocks*" e "*Datasets*" pertinentes;
- Mesmo munido de arquivos ICD, CID ou SCD de um determinado dispositivo, não é possível importar em linguagem SCL a sua configuração, seja pela falta da declaração de classes dos objetos, nome da SE, seja pelo excessivo rigor com que estes arquivos são analisados pelo *software* que os importa;
- Alguns modelos de IED só podem receber um tipo específico de "*data attribute*" dentro dos "*datasets*" publicados pelos GOOSE. Estes, na sua maioria, devem ser do tipo *Boolean* (0 ou 1) para que possam ser interpretadas. Outros, além desta limitação, necessitam que os atributos específicos de qualidade acompanhem o "*data attribute*" do qual deve interagir;

- Outros declararam possuir os *datasets*, *containers* de informações exportáveis via GOOSE ou *report* MMS, com estrutura diferente ao que realmente está configurado no IED. Neste caso o erro está provavelmente no aplicativo que transforma uma aplicação de *software* proprietário em arquivo SCL. Se isso não for corrigido manualmente, a comunicação não acontecerá. Veja-se o exemplo na Figura 6.6 em que algumas variáveis dentro do *dataset* estão desordenadas.

```
DataSet name="LLN0BRptStDs">
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LLN0" doName="Mod" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LLN0" doName="Beh" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LLN0" doName="Health" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LLN0" doName="Loc" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LPHD" lnInst="1" doName="PhyHealth" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LPHD" lnInst="1" doName="OutOv" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LPHD" lnInst="1" doName="Proxy" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="Mod" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="Beh" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="Health" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="OrdRun" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="Loc" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Mod" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Beh" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Health" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Pos" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Ind1" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Ind2" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Ind3" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Ind4" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Mod" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Beh" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Health" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind1" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind10" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind2" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind3" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind4" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind5" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="LocSubst" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind6" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind7" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind8" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind9" fc="ST"/>
```

```
<DataSet name="LLN0BRptStDs">
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LLN0" doName="Mod" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LLN0" doName="Beh" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LLN0" doName="Health" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LLN0" doName="Loc" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="Mod" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="Beh" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="Health" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="OrdRun" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GBAY" lnInst="1" doName="Loc" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LPHD" lnInst="1" doName="PhyHealth" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LPHD" lnInst="1" doName="OutOv" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="LPHD" lnInst="1" doName="Proxy" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Mod" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Beh" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Health" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Pos" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Ind1" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Ind2" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Ind3" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="CSWI" lnInst="1" doName="Ind4" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Mod" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Beh" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Health" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind1" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind10" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind2" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind3" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind4" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind5" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="LocSubst" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind6" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind7" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind8" fc="ST"/>
<FCDA ldInst="CONTROL" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="Ind9" fc="ST"/>
```

Figura 6.6 – *Dataset* declarado pelo .ICD ‘extraído’ do IED via rede (esquerda) e *Dataset* declarado pelo .ICD exportado pelo *software* (direita) [51].

Segundo [52], durante a implementação de um sistema CEI 61850 com vários fabricantes, tornou-se aparente que alguns detalhes importantes da implementação fossem definidos de acordo com os critérios dos fabricantes e não estabelecidos pela Norma CEI 61850. Concluiu-se então que a única forma de ser bem-sucedida seria documentar separadamente os pontos identificados, sobre o que a CEI 61850 é bastante vaga, como requisitos para garantir a funcionalidade requerida do sistema. Alguns exemplos desses detalhes passam pela:

- Quantidade de associações cliente-servidor para o dispositivo;
- Quantidade de mensagens ponto-a-ponto que o dispositivo vai exibir ou transmitir;
- Quantidade de mensagens ponto-a-ponto que o dispositivo vai subscrever ou receber;
- Número de caractéres permitidos no nome do dispositivo;
- Diagnóstico do tempo de operação (‘*run-time*’) do dispositivo;
- Configuração do dispositivo através da SCL, baseada em arquivos XML em vez de ajustes.

A confiança das empresas-cliente dos sistemas segundo a CEI 61850 é ainda diminuta face às enumeras vantagens da Norma CEI 61850, pelo que têm adotado projetos com um único

fabricante com o objetivo de simplificar o treino e a manutenção ao mesmo tempo que propicia suporte para futuras inclusões de dispositivos com CEI 61850 de qualquer fabricante.

É necessário ter presente que mesmo que os IED's com CEI 61850 comuniquem de forma similar, eles não executam as funções de proteção ou automação da mesma forma, e a Norma não especifica como eles executam essas funções. Este ponto pode trazer alguns problemas quando um consumidor pretender ou necessitar de substituir os IED's de um fabricante por outro fabricante que execute a mesma função e com os mesmos recursos de interface de comunicação.

6.5 Comentários Finais

Os principais desafios encontrados aquando da introdução da CEI 61850 nas SE's dizem maioritariamente respeito à sua configuração e verificação através de ensaios práticos adequados. Isso impõe novos desafios às equipas de comissionamento, ensaio e manutenção. A realização dos ensaios e a sua correta configuração requerem não só a compreensão da Norma CEI 61850, mas também do conhecimento e familiarização com as diferentes ferramentas de configuração de cada IED para os diferentes fabricantes, nomeadamente no que se refere com a importação e exportação dos arquivos SCL. Também aqui deve ser verificada a interoperabilidade entre as diferentes ferramentas de *software*. O objetivo é conseguir que as configurações de cada IED não sejam realizadas apenas pelas ferramentas de configuração dos proprietários dos IED's, mas sim com a utilização de uma ferramenta de sistema, sem existir a necessidade de se saber qual é o fabricante do IED.

Além de entender a Norma CEI 61850 e os seus benefícios, foram identificadas algumas das limitações de implementação, nomeadamente as diferentes perspetivas dos fabricantes, no que diz respeito à Operadora da Rede de Distribuição. Algumas destas diferentes perspetivas são consideradas um obstáculo à concretização da interoperabilidade e à obtenção dos benefícios da CEI 61850.

Conclui-se que fabricantes e empresas-cliente devem trabalhar em conjunto para enfrentar os desafios da implementação do protocolo CEI 61850, investindo em laboratórios, em pessoal com conhecimentos técnicos e na criação de projetos-piloto. Só deste modo será aumentada a experiência destas entidades, ganhando experiência adequada para decidir como e quando utilizar a Norma CEI 61850, para chegar a uma aplicação em grande escala e normalizada.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões relativas ao trabalho desenvolvido, bem como propostas para trabalhos a realizar no futuro.

7.1 Conclusões

Com a realização deste trabalho de dissertação foi possível identificar os principais ensaios necessários para verificação da Norma CEI 61850 e as novas metodologias introduzidas pela mesma, assim como a necessidade de novos e adequados equipamentos de teste. Com isto, foi possível identificar as principais alterações em termos de ensaios introduzidas pela CEI 61850, sendo atingido o objetivo principal de avaliar o impacto da Norma CEI 61850 em termos de comissionamento e testes de funcionamento. Esta avaliação foi conseguida após terem sido identificados os ensaios realizados atualmente, assim como os equipamentos de teste existentes, na Operadora da Rede de Distribuição.

Verificou-se que para o cumprimento das metas estabelecidas pela CEI 61850 é necessário um entendimento entre os diferentes fabricantes de equipamentos e as empresas-cliente. Além disso, a aplicação conjunta entre as entidades referidas deve ser consumada através de testes de funcionamento em laboratórios e a construção projetos-piloto. Só desta forma será criado conhecimento suficiente para que se ganhe a confiança necessária para uma aplicação generalizada e normalizada da Norma CEI 61850.

Foi ainda identificada a necessidade de adquirir novos equipamentos de teste dedicados à verificação da conformidade da CEI 61850, assim como a possibilidade de utilizar os equipamentos de ensaio existentes atualmente e possíveis adaptações a estes últimos. Por fim foi discutido o estado atual das Subestações CEI 61850 e alguns possíveis trabalhos a desenvolver para que a Operadora da Rede de Distribuição consiga obter o máximo de benefícios possíveis com a implementação da Norma CEI 61850.

7.2 Possíveis Trabalhos Futuros

Como possíveis trabalhos futuros propõe-se a realização de uma análise que visa avaliar o impacto económico da implementação da Norma CEI 61850 nas Subestações, quer sejam construídas de origem quer sejam remodelações ou expansões. Propõe-se também a aplicação do teste de interoperabilidade, em conjunto com dois diferentes fabricantes, de modo a serem combatidas as barreiras e limitações identificadas neste trabalho, relativas à interoperabilidade. Propõe-se também o estudo e avaliação do esforço empregado na configuração da comunicação e experimentação prática da chamada, do inglês, *interchangeability,* que visa substituir um IED de um 'fabricante A' por um IED de um 'fabricante B', funcionalmente equivalentes, numa Subestação em operação, sem que haja a necessidade de alterações noutros elementos do sistema.

No mesmo seguimento, propõe-se o estudo de outras partes da Norma CEI 61850, uma vez que este trabalho retrata apenas a comunicação local nas Subestações. O estudo é respeitante à implementação do barramento de processo, Parte 9-2 da CEI 61850, e mais recentemente a introdução da Parte 90-1 da CEI 61850, respeitante à implementação de um novo protocolo de comunicações entre as diversas Subestações. Para estes casos propõe-se uma avaliação do impacto nos atuais sistemas, em termos económicos, técnicos, de comissionamento e testes de funcionamento e manutenção.

Por fim, uma evolução tecnológica que está a começar a ser bastante considerada pelas empresas de distribuição de energia elétrica é o conceito de *Smart Grid,* o qual implica uma utilização de informação muito maior sobre o processo elétrico, o que é facilitado pelo uso da Norma CEI 61850, e portanto investigações sobre o assunto são ainda superficiais pelo que se 'adivinha' que um estudo profundo tenha um impacto significativo para as empresas de distribuição de energia elétrica.

Referências

[1] B. Sampaio, “Desenvolvimento de modelo de ensaio de Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC) em Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED) utilizando o software OMICRON "Test Universe"”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, 2009.

[2] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Projeto Tipo - Memória Descritiva - DIT-C13-500/N”, 2007. [Online]. Available: http://www.edpdistribuicao.pt -> Profissional ->Projecto-tipo SE AT/MT. [Acedido em 02 2013].

[3] C. Nobre, “Estudo da Norma IEC 61850: Sistemas e redes de Comunicação nas Subestações”, Relatório de Projecto, Seminário ou Trabalho de Fim de Curso (PSTFC), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, 2006.

[4] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC) - Caracteristicas e ensaios - DMA-C13-501/N”, 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt -> profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Materiais e Aparelhos. [Acedido em 03 2013].

[5] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Generalidades:"Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Protocolos de comunicação e sincronização de data e hora": DEF-C13-504/N”, 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt/ -> Profissional -> Projeto Tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional. [Acedido em 02 2013].

[6] A. Morais, “Arquitetura de comunicações de Sistemas de Proteção, Comando e Controlo da EDP Distribuição”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, 2009.

[7] L. Moreira, “Ciclo de Vida dos Sistemas de Proteção Comando e Controlo: Estratégias de Manutenção Versus Investimento”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Univeridade do Porto (FEUP), Porto, 2009.

[8] EDP Distribuição Energia, SA, "Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Sistemas de Proteção Comando e Controlo Numérico (SPCC). Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED) - Entradas e Saídas externas - generalidades", 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt -> profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Generalidades. [Acedido em 03 2013].

[9] Efacec Automação, "Sistemas de Proteção Comando e Controlo", em *Formação SPCC EDP*.

[10] ABB, "Formação em Sistemas de Proteção, Comando e Controlo: Arquitetura SPCC - IEC 61850", em *Formação SPCC, EDP*, 2012.

[11] EDP Distribuição Energia, SA, "Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC) - Funções de Proteção - DEF-C13-570/N", 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt -> Profissional -> Projeto tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional.
[Acedido em 02 2013].

[12] EDP Distribuição Energia, SA, "Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Ensaios de funcionamento e verificações gerais - Protocolo de Ensaios - DPE-C13-500/N", 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt -> profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Generalidades . [Acedido em 03 2013].

[13] J. M. Gers e E. J. Holmes, "Installation, testing and maintenance of protection systems - Chapter 14", em *Protection of Electricity Distribution Networks - 2nd Edition*, London, United Kingdom, The Institution of Electrical Engineers, 2004, pp. 283-295.

[14] EDP Distribuição Energia, SA, "Subestações de Distribuição AT/MT. Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC) - Protocolo de Ensaios Funcionais", ATOM, 2009.

[15] RTDS Technologies Inc., "RTDS Technologies: The World Standard for Real Time Digital Power System Simulation", 2012. Disponível em: http://www.rtds.com.
[Acedido em 03 2013].

[16] OMICRON, "Test Universe - Teste Primário: Linha-CP Catálogo", Versão 3.1.2, 2002. Disponível em: http://www.omicron.at -> Support -> Literature & Videos -> Literature. [Acedido em 03 2013].

[17] OMICRON, "CMC 256plus - The High Precision Relay Test Set and Universal Calibrator", 2013. Disponível em: http://www.omicron.at -> Support -> Literature & Videos -> Literature. [Acedido em 03 2013].

[18] OMICRON, "Soluções em testes para Sistemas de Proteção e Medição - Catálogo de Produtos", 2010. Disponível em: http://www.omicron.at -> Support -> Literature & Videos -> Portuguese -> Linha-CM Catálogo. [Acedido em 03 2013].

[19] A. Cascaes, R. Abboud e R. Pellizzoni, “Sistemas de Proteção e Automação de Subestações de Distribuição e Industriais usando a Norma IEC 61850”, em *XIII Encontro Regional Ibero Americano de Cigré (ERIAC)*, Puerto Iguazú, Argentina, 2009.

[20] E. M. Almeida, “Norma IEC 61850 - Novo Padrão em Automação de Subestações”, Trabalho Fim de Curso - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 2011.

[21] International Standard, “IEC 61850-5: Communication Requirements for Functions and Device Models”, IEC, First edition, 2003.

[22] B. Nogueira, “Protocolo de Comunicação IEC 61850”, Trabalho Fim de Curso, Universidade Salvador, UNIFACS, Brasil, 2007.

[23] International Standard, “IEC 61850-6: Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations related to IEDs”, IEC, First edition, 2004.

[24] International Standard, “IEC 61850-7-2: Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment - Abstract Communication Service Interface (ACSI)”, IEC, First Edition, 2003.

[25] International Standard, “IEC 61850-7-4: Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment - Compatible Logical Nodes Classes and Data Classes”, IEC, First Edition, 2003.

[26] International Standard, “IEC 61850-7-1: Basic Communication Structure fos Substation and Feeder Equipment - Principles and Models”, IEC, First edition, 2003.

[27] International Standard, “IEC 61850-7-3: Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment - Common Data Classes”, IEC, First Edition, 2003.

[28] C. Guerrero, “Uso do RTDS em Testes de Esquemas de Teleproteção Aplicando o Padrão IEC 61850”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, Brasil, 2011.

[29] International Standard, “IEC 61850-8: Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Mapping to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3”, IEC, First edition, 2004.

[30] International Standard, “IEC 61850-9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Sampled Values Over ISO/IEC 8802-3”, IEC, First Edition, 2004.

[31] P. Junior, R. Ramos, C. Martins, P. Pereira e G. Lourenço, “Investigação do Funcionamento do Barramento de Processo (IEC 61850-9-2) - Uma Abordagem Prática”, em *IX Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos - SIMPASE*, Paraná - Brasil, 2011.

[32] International Standard, “IEC 61850-4: System and Project Management”, IEC, First edition, 2002.

[33] International Standard, “IEC 61850-10: Conformance Testing”, IEC, First edition, 2005.

[34] M. Paulino , A. Pereira e I. Siqueira , “Diretrizes para Ensaios de Interoperabilidade e Testes Funcionais em Relés Multifuncionais Baseados na Norma IEC61850”, em *IX Seminário Técnico de Proteção e Controle (STPC)*, Minas Gerais, Brasil, 2008.

[35] R. Bernardo, “Procedimentos de testes de conformidade para a IEC 61850”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa, 2007.

[36] M. Paulino, I. Siqueira e A. Pereira, “A Importância dos Testes Funcionais e de Interoperabilidade para a Integração de Sistemas de Proteção e Automação Utilizando a Norma CEI61850”, em *IX Seminário Técnico de Proteção e Controle (STPC)*, Minas Gerais, Brasil, 2008.

[37] J. TAN, C. Zhang e Z. Q. Bo, “The Importance of IEC 61850 Interoperability Testing”, em *Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2008.

[38] M. Paulino, “Testes de Conformidade em Relés Multifuncionais baseados na IEC 61850”, em *VIII Seminário Técnico de Proteção e Controle (STPC)*, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

[39] A. Souto , G. Guieiro, J. Kieruff, L. Abreu e S. Carvalho, “Testes de Desempenho e Interoperabilidade utilizando a Norma IEC 61850”, em *13º Seminário de Automação de Processo*, São Paulo, Brasil, 2009.

[40] OMICRON, “IEDScout: The Universal Tool for working with IEC 61850 IEDs”, abril 2012. Disponível em: http://www.omicron.at -> support -> literature-videos -> literature -> english -> IEDScout Brochure. [Acedido em 04 2013].

[41] OMICRON, “OMICRON: GOOSE Configuration Module”, 2013. Disponível em: http://www.omicron.at -> Home -> Products & Services -> by Product -> Testing with Communication Protocols -> GOOSE Configuration Module . [Acedido em 04 2013].

[42] OMICRON, “OMICRON: Sampled Values Configuration Module”, 2013. Disponível em: http://www.omicron.at -> Home -> Products & Services -> by Product -> Testing with Communication Protocols -> Sampled Values Configuration Module.
[Acedido em 04 2013].

[43] OMICRON, “CMC 850: The Protection Test Set Dedicated to IEC 61850”, 02 2013. Disponível em: http://www.omicron.at -> support -> literature-videos -> literature -> english -> CMC 850 Brochure. [Acedido em 04 2013].

[44] P. Forsyth e R. Kuffel, “Utility applications of a RTDS Simulator”, em *The 8ª International Power Engineering Conference (IPEC)*, 2007.

[45] B. Muschlitz, “IEC 61850 Conformance Testing: Goals, Issues and Status”, em *DistribuTech Conference & Exhibition*, Tampa, Florida, 2006.

[46] D. Martins, “Implementação do Projeto-Tipo da EDP para Automação de Subestações segundo a norma IEC 61850: Configuração de IED's de dois fabricantes para painéis de saída MT”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa, 2010.

[47] K. Schwarz, “Impact of IEC 61850 on System Engineering, Tools, People-Ware, and the Role of the System Integrator”, em *DistribuTech Conference & Exhibition*, San Diego, Califórnia, 2007.

[48] S. Tarlochan, K. Mitalkumar e P. Palak, “Configuration and Performance Testing of IEC 61850 GOOSE”, em *The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*, Beijing, China, 2011.

[49] G. Senfter, “IEC61850 - Is it worth the trouble?”, em *19ª International Conference on Electricity Distribution (CIRED)*, Viena, Austria, 2007.

[50] L. Fabiano e M. Pereira, “Integração de Funções de Proteção e Controle Utilizando Recursos da Norma IEC61850 - Possibilidades e Desafios”, em *IX Seminário Técnico de Proteção e Controle (STPC)*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2008.

[51] D. Makiyama e E. Pellini, “Interoperabilidade e Desempenho de IEDs em Sistemas IEC61850”, em *X Seminário Técnico de Proteção e Controle (STPC)*, Recife, Pernambuco, Brasil, 2010.

[52] V. Flores, D. Espinosa, J. Alzate e D. Dolezilek, “Case Study: Design and Implementation of IEC 61850 From Multiple Vendors at CFE La Venta II”, Schweitzer Engineering Laboratories (SEL), Comercial LTDA and Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2007.

[53] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Função de automatismo: “comutação automática de disjuntores BT” : DEF-C13-550/N”, 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt -> profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional. [Acedido em 02 2013].

[54] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Função de automatismo: "religação rápida e/ou lenta de disjuntores": DEF-C13-551/N”, 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt/ -> Profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional. [Acedido em 02 2013].

[55] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Função de automatismo: “pesquisa de terras resistentes”: DEF-C13-552/N”, 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt -> Profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional. [Acedido em 02 2013].

[56] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Função de Automatismo: "Deslastre por falta de tensão/reposição por regresso de tensão": DEF-C13-553/N”, 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt/ -> Profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional. [Acedido em 02 2013].

[57] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Função de automatismo: "deslastre por mínimo de frequência/reposição por normalização de frequência": DEF-C13-554/N”, 2007. Disponível em: http:\\www.edpdistribuicao.pt -> Profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional. [Acedido em 02 2013].

[58] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Função de Automatismo: "Regulação de Tensão": DEF-C13-555/N”, 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional. [Acedido em 02 2013].

[59] EDP Distribuição Energia, SA, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Função de automatismo: “comando horário de baterias de condensadores": DEF-C13-556/N”, 2007. Disponível em: http://www.edpdistribuicao.pt -> profissional -> Projecto-tipo SE AT/MT -> Documentação Normativa -> Especificação Funcional. [Acedido em 02 2013].

[60] R. Schimmel e S. Gerspach, “Test procedures for GOOSE performance according to IEC 61850-5 and IEC 61850-10”, UCA International Users Group, Baden, Alemanha, 2011.

Anexo A

Funções de Automatismo

ID	Função de Automatismo	Objetivo
1	Comutação automática de disjuntores BT [53]	Assegurar a alimentação do barramento de corrente alternada através da seleção automática do TSA que reúna as condições para o efeito.
2	Religação rápida e/ou lenta de disjuntores [54]	Eliminar defeitos fugitivos e semipermanentes em linhas MT e AT (sem intervenção do operador).
3	Pesquisa de terras resistentes [55]	Identificar, de forma automática um defeito à terra resistente, que não tenha sido detetado por outra proteção.
4	Deslastre por falta de tensão/reposição por regresso de tensão [56]	Evitar realimentação brusca da totalidade das linhas ligadas a um barramento, após um deslastre de cargas, reduzindo assim sobreintensidades de ligação.
5	Deslastre por mínimo de frequência/reposição por normalização de frequência [57]	Evitar afundamento geral da rede, em caso de diminuição da frequência, abaixo de valores pré-fixados.
6	Regulação de tensão [58]	Manter a tensão de um barramento dentro de valores pré-fixados.
7	Comando horário da BC [59]	Compensar o excesso ou defeito de energia reativa existente na rede, melhorando o fator de potência.

Anexo B

Resumo das funções de Proteção e Automatismo

<table>
<tr><th>Painel</th><th>Função de Proteção [11]</th><th>Funções de Automatismo (ID)</th></tr>
<tr><td>Linha AT</td><td>Proteção de Distância (PD)
· Deteção de ligação sobre defeito
· Deteção de condutor partido
Máximo Intensidade de Fase (MIF)
Máximo Intensidade Homopolar Direcional (MIHD)
MIH de Terras Resistentes (PTR)
Diferencial de linha ou cabo (facultativo)
Power Swing Detection (oscilações de potência)
Weak End Infeed (ações intempestivas da corrente)
Teleproteção
Verificação de sincronismo</td><td>2 e 4</td></tr>
<tr><td>Barras AT</td><td>Mínimo de Tensão (mU)
Diferencial
Verificação de sincronismo</td><td>4</td></tr>
<tr><td>TP AT</td><td>Diferencial
MIF
Proteções Próprias (Bulcholz, temperatura, etc)</td><td>4 e 6</td></tr>
<tr><td>Chegada MT
TP AT/MT</td><td>MIF
mU
Máxima Tensão (MU)
Mínimo de frequência (mf)</td><td>2, 3 e 4</td></tr>
<tr><td>TSA + RN</td><td>MIF</td><td>1 e 3</td></tr>
</table>

	MIH de Barras MT (MIH-PHB) PTR Máxima tensão homopolar de terras resistentes Proteções Próprias	
BC	Desequilíbrio de neutro por escalão MIF MIH MU	**3, 4, 5 e 7**
Linha MT aérea/mista	MIF MIH (Direcional ou não) PTR (em REE não há religação) Condutor partido Presença de tensão *Cold Load Pickup/Inrush Restraint*	**2, 3, 4 e 5**

Anexo C

Categorias dos Nós Lógicos

Categorias de Nós Lógicos		Nº de LN's	
Grupo Indicador	**Grupo de Nó Lógico**	**Edição 1**	**Edição 2**
A	Controlo Automático	4	5
C	Controlo Supervisionado	5	6
G	Função Genérica	3	4
I	Interfaces e Arquivamento	4	6
L	Nós Lógicos do Sistema	3	9
M	Medição	8	13
P	Funções de Proteção	28	30
R	Funções Relacionadas a proteção	10	11
S	Sensores, Monitorização	4	20
T	Transformadores de Medida	2	4
X	Disjuntores e Seccionadores	2	2
Y	Transformadores de Potência e Funções Relacionadas	4	18
Z	Outros Equipamentos do Sistema de Potência	15	9
K	Equipamento Primário Mecânico e Não-elétrico	-	5
Q	Eventos de Qualidade de Potência	-	6
	Monitorização e Supervisão	-	11
	Total	92	159

Anexo D

Modelo do Certificado de Teste que Aprova o Desempenho das Mensagens GOOSE [60]

IEC 61850 Certificate Level A/B[1]

Issued to:
<<MANUFACTURER>>
<< FULL ADDRESS>>

For the product:
<<PRODUCT NAME>>
<<VERSION NUMBER>>

Issued by: << TEST LAB >>

The product has not shown to be non-conforming to:

IEC 61850-5 performance class <<P1 or P2/P3>>

The performance test has been performed according to the UCA International Users Group GOOSE performance Test Procedures version X.Y with product's protocol implementation conformance statements: "<<PICS>>", and product's extra information for testing: "<<PIXIT>>".

This Certificate summaries test results as carried out at <<TESTLAB>> in <<COUNTRY>> with <<GOOSE publisher VERSION>> and <<Analyzer VERSION>>. This document has been issued for information purposes only, and the original paper copy of the test report: No. <<REPORT NUMBER>> will prevail.

The GOOSE performance has been measured with <<Boolean and/or Double Point>> information's.

<<LOCATION>>, <<DATE>>

<<Signature of responsible test engineer>>
<<Name of responsible test engineer>>

1 Level A - Independent Test lab with certified ISO 9000 or ISO 17025 Quality System

Anexo E

Modelo do PIXIT para o Teste de Desempenho das Mensagens GOOSE [60]

Introduction

This document specifies the protocol implementation extra information for testing (PIXIT) of the IEC 61850 GOOSE performance in the server device: "<product>" with version "<version>".

Together with the PICS this PIXIT forms the basis for a GOOSE performance test according to IEC 61850-5 and IEC 61850-10.

PIXIT for GOOSE performance test

Description		Value / Clarification
Performance class		P1 or P2/P3
GOOSE ping-pong processing method		Event driven based or Scan cycle based
Application logic scan cycle(ms)	Max.	Boolean 103 ms / DP 200ms
	Min.	Boolean 0 ms / DP 0 ms
Maximum number of data attributes in GOOSE dataset (value and quality has to be counted as separate attributes)		50
Maximum number of GOOSE to be published		5
Maximum number of GOOSE to be subscribed		50
Data types in GOOSE dataset for published GOOSEs According to 7-2 Table 2		Boolean / Double Point / Int. 64
Data types in GOOSE dataset for subscribed GOOSEs According to 7-2 Table 2		Boolean / Double Point / Int. 64

Anexo F

Exemplo do procedimento de teste [33]

A.1 Example 1

sBr1	GetLogicalNodeDirectory(BRCB) and GetBRCBValues	☐ Passed ☐ Failed ☐ Inconclusive
Ref. Part, Clause and Subclause of IEC 61850 IEC 61850-7-2, Subclause 9.2.2 and 14.2.3.3 IEC 61850-8-1, Subclause 12.3.1 and 17.2.2		
Expected result 1) DUT sends GetLogicalNodeDirectory(BRCB) Response+ 2) DUT sends GetBRCBValues Response+		
Test description 1) For each logical node Client requests GetLogicalNodeDirectory(BRCB) 2) For each BRCB Client requests GetBRCBValues()		
Comment		